Hans-Dieter Lichtner

Basiskonzepte – eine Einführung in das Denken in Konzepten

1. Allgemeines zur Rolle der Basiskonzepte im Unterricht

„Inhaltsbezogenen Kompetenzen werden nach **Basiskonzepten** gegliedert. ... Basiskonzepte bieten Lehrerinnen und Lehrern die Möglichkeit, die große Themenfülle der Biologie – bei gleichzeitig engem Zeitrahmen – zu **filtern** und daraus ein **grundlegendes Basiswissen abzuleiten.** Sie stellen somit eine Hilfe für die Auswahl von geeigneten Unterrichtsthemen dar. **Entscheidend für den konzeptuellen Charakter eines Fachinhalts ist seine Bedeutung für das Grundverständnis biologischer Phänomene und Zusammenhänge als Grundlage für eine rationale Welterschließung.**

Basiskonzepte ermöglichen den Schülerinnen und Schülern, in der scheinbaren Unübersichtlichkeit biologischer Phänomene eine Struktur zu erkennen, die ihnen den Zugang zu neuen Problemstellungen aus dem Bereich der Biologie erleichtern. Durch das Entdecken gleicher Erklärungsmuster an verschiedenen Phänomenen (z.B. Oberflächenvergrößerung bei Wurzelhaaren und Lungenbläschen) erfolgt eine vertikale Vernetzung von Themen, die zunächst zusammenhanglos erscheinen. Den Lernenden erschließt sich somit ein biologiespezifisches Muster, das ihnen eine hilfreiche Orientierung in der Vielfalt dieser Fachdisziplin erlaubt.

Eine besondere Rolle spielt dabei die Evolutionstheorie als zentrale Theorie der Biologie. Sie stellt letztlich alle Basiskonzepte in einen gemeinsamen Zusammenhang. Die Grundzüge der Selektionstheorie und die Einführung des Aspekts der Geschichtlichkeit bilden eine durchgehende Leitlinie des Biologieunterrichts. ...

Entdeckendes Lernen mit der Entwicklung eines Grundverständnisses erfordert gerade bei der Einführung der jeweiligen Basiskonzepte am Beginn der Sekundarstufe I eine Auswahl von Beispielen, die die Schülerinnen und Schüler altersgemäß und alltagsnah erschließen können und bei denen sie Gemeinsamkeiten der Konzeptstruktur möglichst eigenständig erkennen können. Erst dann ist es sinnvoll, den Konzeptcharakter der Prinzipien anzusprechen. Durch möglichst vielfältig wiederkehrenden Rückgriff auf diese Konzepte werden die Schülerinnen und Schüler immer mehr befähigt, diese Konzepte eigenständig zur Erklärung biologischer Phänomene anzuwenden.“ (Nds. Ku.mi. 2007, S. 72).

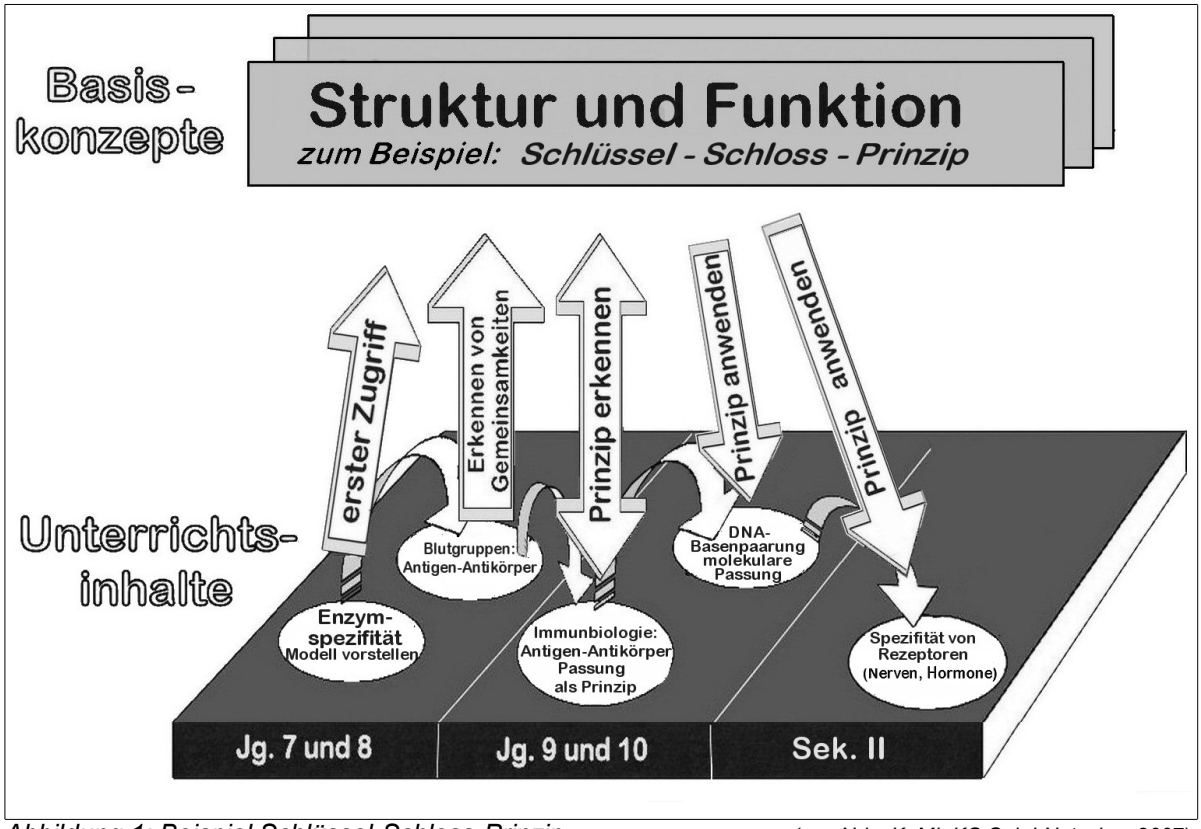


Abbildung 1: Beispiel Schlüssel-Schloss-Prinzip *(aus Nds. KuMi, KC Sek I Nat.wiss. 2007)*

Diese dem Kerncurriculum Sek I, Niedersachsen entnommene Einführung zu den Basiskonzepten umreißt kurz deren Rolle im Lernprozess. Abb, 1 veranschaulicht den Bezug von Basiskonzepten zu den Unterrichtsthemen am Beispiel des Schlüssel-Schloss-Prinzips.

Im Folgenden soll die Rolle der Basiskonzepte im Unterricht konkretisiert und die einzelnen Basiskonzepte am Beispiel jeweils einiger konzeptueller Aspekte ausgeschärft werden.

2. Die Arbeit mit Basiskonzepten braucht kumulatives Lernen

Wenn wir im Unterricht auf Kenntnisse aus vergangenen Schuljahren aufbauen wollen, erfahren wir häufig, dass unser Unterricht offensichtlich ineffektiv war: Nicht selten findet sich bei der Mehrzahl der Lernenden nichts außer einer blassen Erinnerung. Eine wesentliche Ursache dafür ist das Fehlen einer für die Schülerinnen und Schüler durchschaubaren Wissensstruktur. Deren Aufbau muss vom Einfachen zum Komplexen führen, braucht immer wieder Rückbezüge zum Vorunterricht, die durch Wiederholen, Üben und logisches Verknüpfen die für ein biologisches Verständnis notwendigen Grundlagen im Gedächtnis festigen. Grundlegend für den Lernerfolg ist dabei auch die Erfahrung von Bedeutsamkeit des Gelernten, die die Lernenden durch diese Rückgriffe erkennen. Den Aufbau einer solchen Wissensstruktur bezeichnen wir als **kumulatives Lernen.**

Voraussetzung dafür ist eine Planung, die weit über die einzelne Unterrichtseinheit hinausgeht. Im Rahmen des Schulcurriculums müssen zentrale Lernlinien entwickelt werden, die alle Schuljahrgänge umfassen. Ein **Beispiel** einer solchen möglichen Lernlinie ist das **Gegenspielerprinzip**, ein Element des Basiskonzepts *Struktur und Funktion* (Abb. 2).

Bisweilen wird das Gegenspielerprinzip sehr weit gefasst; es schließt dann jegliche Polarität wie etwa osmotische Effekte (Plasmolyse – Deplasmolyse) und Antagonisten auf hormoneller Ebene (Insulin – Glucagon) mit ein (z. B. BEYER 2006). Die Folge ist allerdings, dass dieser Sammlung von Phänomenen kein Erklärungskonzept mehr zugrunde liegt. Das aber ist Voraussetzung für ein grundlegendes Verständnis biologischer Phänomene. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, das Gegenspielerprinzip nur auf Bewegungsvorgänge zu beziehen, die auf der Basis kontraktiler Elemente aufbauen.

Der konzeptuelle Charakter des Gegenspielerprinzips erschließt sich erst mit der Erkenntnis, dass das Zusammenspiel von Muskeln in ganz unterschiedlichen Bewegungszusammenhängen (Skelettmuskulatur – indirekte Bewegung der Lunge – Einbeziehung von Ringmuskeln im Fall der Irismuskulatur) immer demselben Muster folgt: Da Muskeln aktiv nur kontrahieren, aber von anderen Einflüssen gedehnt werden müssen, konzentriert sich die Untersuchung eines Bewegungsablaufes immer mehr auf die Suche nach diesem dehnenden Gegenspieler. Das Erkennen dieses Grundmusters erlaubt den Lernenden, neue Phänomene zunehmend eigenständiger auf dieses Prinzip zurückzuführen und die zugrunde liegende Wissensstruktur zu erweitern.

Auch die **Vernetzung der Basiskonzepte** wird an diesem Beispiel deutlich: Die eigentliche Erklärung für die Unfähigkeit von kontraktilen Elementen, sich aktiv zu dehnen, findet sich bei der Untersuchung der physiologischen Interaktion zwischen den Aktin- und Myosinfilamenten, also auf molekularer Ebene; damit kommt dann auch der energetische Aspekt ins Spiel (Rolle des ATP: Basiskonzept *Stoff- und Energieumwandlung;* siehe auch unter 5. 1. und 5. 4.). Die vielfältigen Abwandlungen der Geißelstrukturen lassen sich über das gemeinsame Bauprinzip (9 kreisförmig angeordnete Mikrotubuli-Doppelröhren um zwei zentrale Röhren; näheres siehe http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d25/25b.htm) ausgezeichnet homologisieren und stellen damit einen Bezug zum Basiskonzept *Geschichte und Verwandtschaft* her. Umso verblüffender ist für Lernende dann die Entdeckung, dass die Bakteriengeißeln nach einem ganz anderen Bewegungsprinzip funktionieren; deren Radmechanismus kommt ohne Gegenspieler aus. Damit erweist sich das Gegenspielerprinzip als Ergebnis einer einmaligen „Erfindung“ im Verlauf der Evolution; alle Strukturen, die nach diesem Prinzip funktionieren, sind homolog. Die prokaryotische Geißel ist dagegen das Ergebnis einer konvergenten Entwicklung. Dass unser kumulativer Lernweg bei der Evolution der Organismen endet, ist kein Zufall: Letztendlich lassen sich alle Basiskonzepte auf die Evolutionstheorie zurückführen.

3. Was sich nicht ändert

Für die Arbeit mit Basiskonzepten ist die Trennung von Themen und Fachinhalten von großer Bedeutung: Es geht nicht darum, Basiskonzepte als Unterrichtsthema zu etablieren, etwa im Sinne einer Einheit *Struktur und Funktion bei Wirbeltieren*. Die Folge einer solchen Konstruktion wäre ein Unterricht, der immer wieder phänomenologische Gesamtzusammenhänge zerreißt und damit nicht schülerorientiert wäre[1]. Unterrichtseinheiten sollen sich weder an der systematischen Fachstruktur noch an Basiskonzepten, sondern an lebensweltlichen und sinnstiftenden Kontexten orientieren. Es geht also darum, in einem

- wie bisher phänomen- und kontextorientierten,
- wie bisher problemorientierten,
- wie bisher exemplarischen

Vorgehen immer wieder Reflexionen und vergleichende Rückbezüge zu bekannten Phänomenen und Regelhaftigkeiten herzustellen, die den Blick auf die vertikale Vernetzung der vielfältigen Themen der Biologie erlauben.

1 Einen solchen Ansatz gab es in den 70er Jahren unter der Leitlinie „Kennzeichen des Lebendigen“. Einheiten wie „Bewegung bei Tieren“ führten zu einem wenig schülergerechten Herauslösen von Einzelaspekten. So wurde im Extremfall der Regenwurm nur unter dem Aspekt Bewegung und Hautmuskelschlauch behandelt; die für die Lernenden primär interessanten „ganzheitlichen“ Aspekte, die sie unmittelbar mit diesem Tier verbunden und an ihm beobachten konnten, gerieten dabei in den Hintergrund. Damit scheiterte dieser Ansatz.

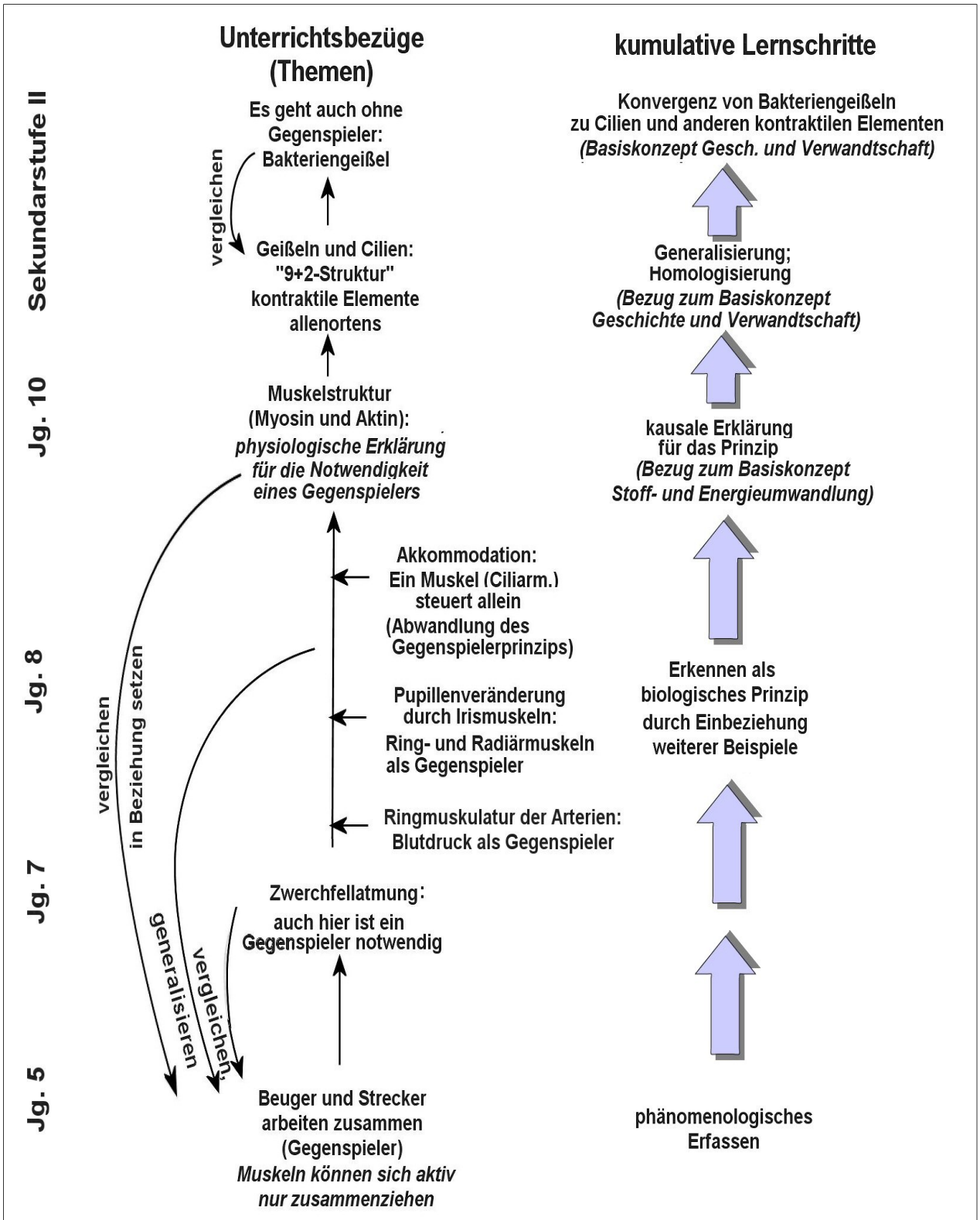


Abbildung 2: Kumulatives Lernen am Beispiel des Gegenspielerprinzips

4. Methodische Hinweise zur Arbeit mit Basiskonzepten

Ein besonderes Problem bei der Arbeit mit Lernlinien besteht darin, dass die für die vertikale Vernetzung notwendigen Rückgriffe auf früher thematisierte Unterrichtsinhalte mit größerem zeitlichen Abstand schwieriger werden. Das gilt insbesondere für die ersten Stufen im Erarbeitungsprozess, da in dieser Phase noch keine für die Lernenden erkennbare Wissensstruktur besteht. Zwei Grundverfahren bieten sich hier an:

a) Wiederholung der früher thematisierten Unterrichtsinhalte über ein Arbeitsblatt mit dem Auftrag, diese bekannten Fakten mit dem vorliegenden Fall zu vergleichen

b) Vorstellung von anderen Beispielen für das Basiskonzept (z.B. in Stationen) mit dem Auftrag, Gemeinsamkeiten zwischen den scheinbar unterschiedlichen Fällen herauszuarbeiten.

Dieses Vorgehen sei an einem zweiten Beispiel erläutert: dem **Prinzip der Oberflächenvergrößerung**, einem Unterkonzept des Basiskonzeptes *Struktur und Funktion*.

Als Lernlinie wäre zum Beispiel die folgende Reihung möglich (Abb. 3):

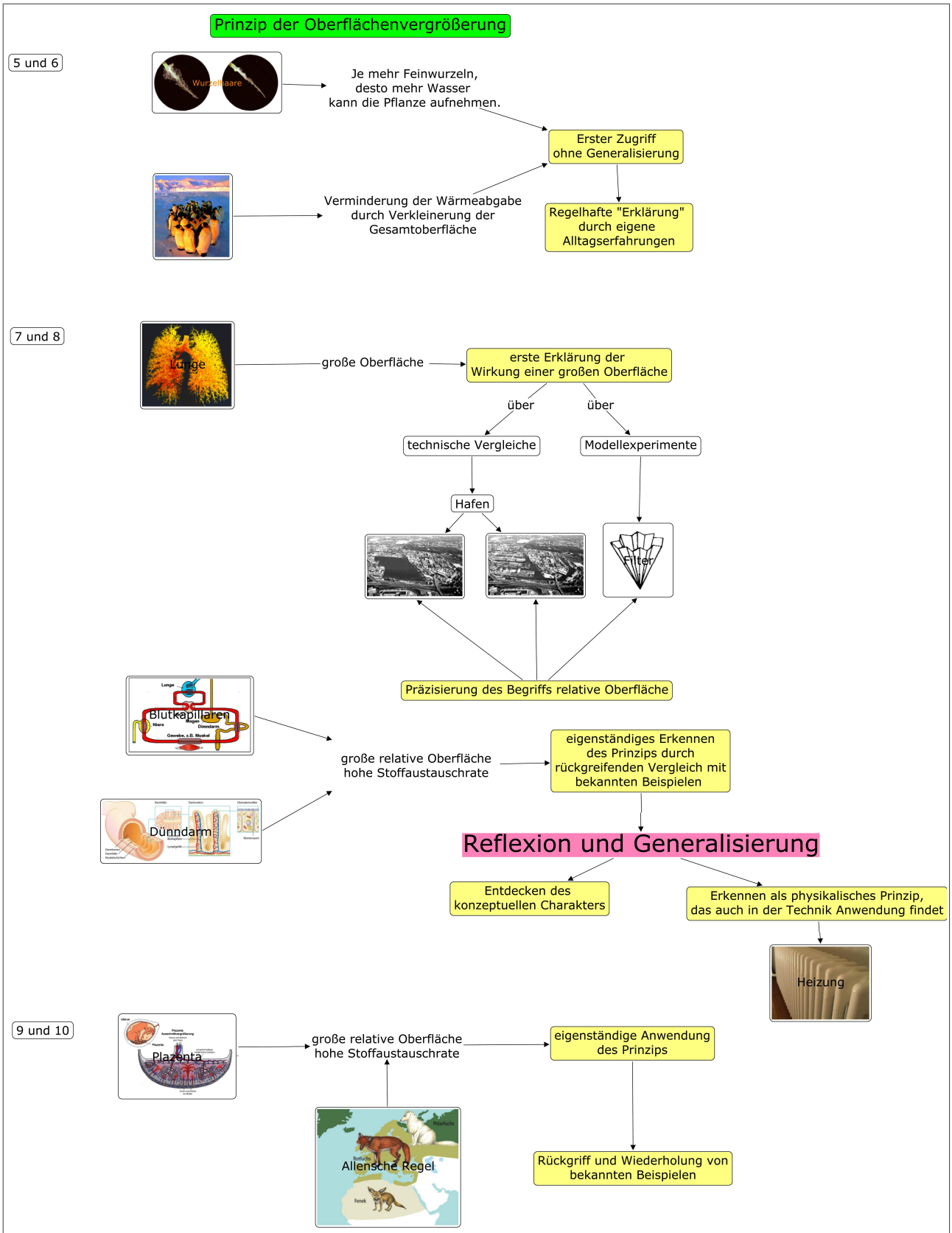
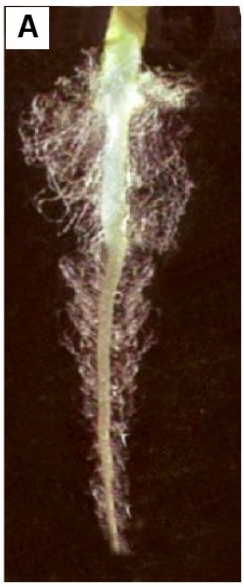


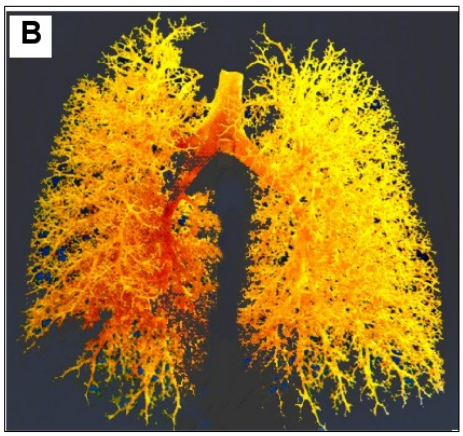
Abbildung 3: Kumulatives Lernen am Beispiel des Prinzips der Oberflächenvergrößerung

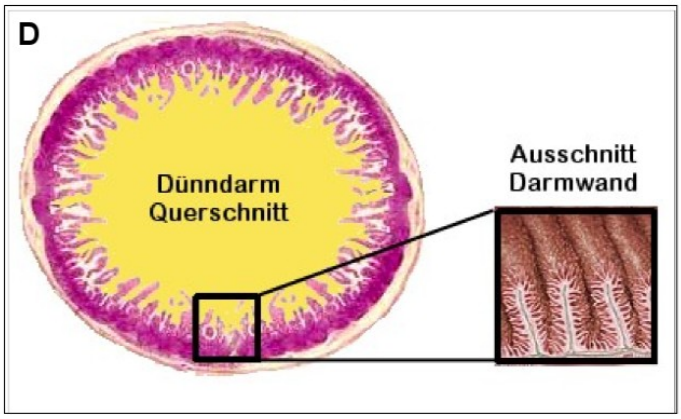
Die Reflexion und Generalisierung ist der Moment im Lernprozess, bei dem das Basiskonzept explizit in den Focus gerückt wird. Diese Unterrichtsphase kann über einen Vergleich eingeleitet werden, der zur Generalisierung, aber auch zur Vorsicht anregt: Nicht jedes Objekt, dass eine große Oberfläche hat, muss dem Prinzip der Oberflächenvergrößerung im Sinne einer großen relativen Austauschfläche entsprechen (Abb. 4). Ein zweites Beispiel, bezogen auf das Struktur-Funktionskonzept allgemein, findet sich in der ***Anlage***.

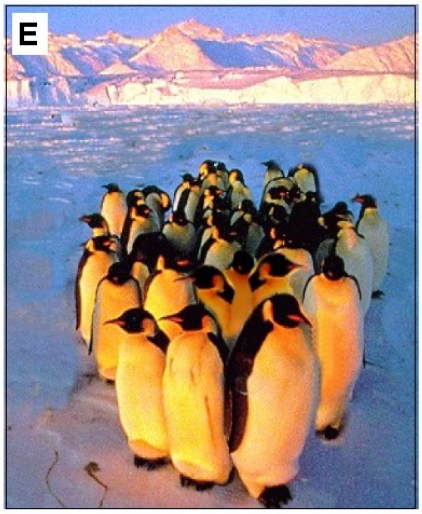
Basiskonzepte Bio in der Biologie

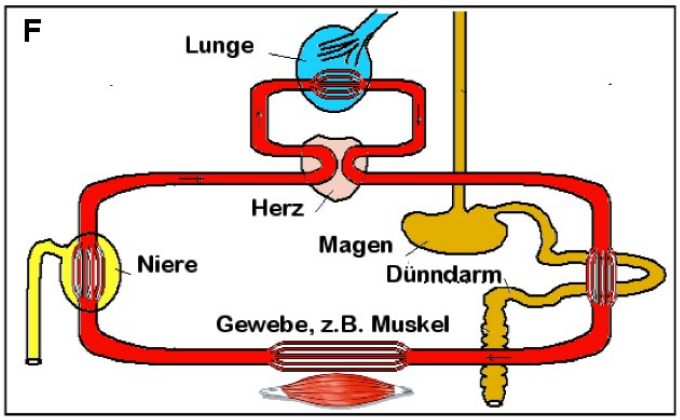
Ähnlichkeiten in der Struktur biologischer Objekte weisen (oft) auf eine ähnliche Funktion hin!











<u>Aufgabe</u>:
Nimm zu der obigen Behauptung Stellung, indem du
- die hier abgebildeten Objekte bezüglich ihrer Ähnlichkeiten vergleichst
- die Aufgabe dieser Strukturen in jedem Einzefall benennst und
- untersuchst, inwieweit sich daraus eine gemeinsame Funktion der Strukturen formulieren lässt.

<u>Hilfen:</u>
a) Zwei Objekte weichen von den übrigen ab.
b) Eines dieser beiden Objekte passt trotzdem in das Schema!

Abbildung 4: Arbeitsblatt mit Zugang zum Basiskonzept

Anmerkung zum AB in Abb. 4:
Der hier gewählte Ansatz ist sehr anspruchsvoll. Leichter wäre es, zunächst die unproblematischeren Abbildungen ohne das Hirschgeweih und die kuschelnden Pinguine zu wählen und nach der Erarbeitung der gemeinsamen Struktur-Funktionsbeziehung in einer Vertiefungsphase das Beispiel der Oberflächenverkleinerung (Pinguine) und das hier unpassende Beispiel Hirschgeweih zu präsentieren.

5. Anmerkungen zu den einzelnen Basiskonzepten

Im Folgenden finden Sie in den Rahmentexten einen kurzen Überblick, im anschließenden Fließtext jeweils ausführlichere Anmerkungen zu den einzelnen Basiskonzepten. Die Anmerkungen sind beispielhaft zu sehen, um eine basiskonzeptorientierte Betrachtungsweise auf biologische Themen zu verdeutlichen.

In Niedersachsen ist – wie in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur (Bundes-EPA) – folgende Systematik der Basiskonzepte üblich:

5. 1. Struktur und Funktion

Es gehört zu den wesentlichen Besonderheiten der Biologie innerhalb der Naturwissenschaften, Strukturen von Lebewesen und Lebensprozessen eine biologische Bedeutung zuweisen zu können. Durch den Selektionsprozess, dem Organismen im Verlauf der Evolution unterliegen, werden Strukturen so geformt, dass sie ihrer jeweiligen biologischen Funktion gerecht werden. Insofern fügt sich dieser Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion in die für die gesamte Biologie zentral bedeutsame Evolutionstheorie ein.

Beispiele für zuzuordnende Prinzipien bzw. Teilkonzepte:

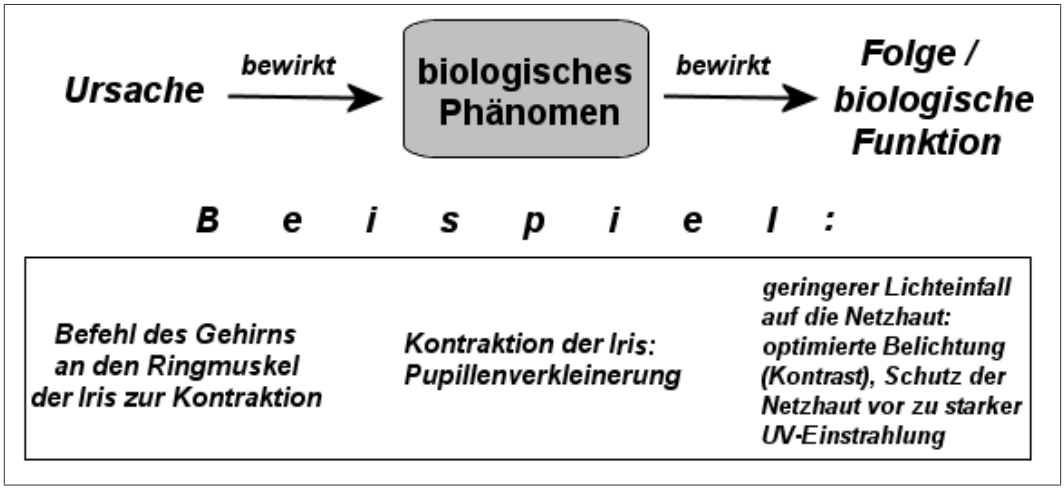
- **Prinzip der Oberflächenvergrößerung**
- **Schlüssel-Schloss-Prinzip**
- **Gegenstromprinzip**
- **antagonistisches Bewegungsprinzip** der Muskeln und ihrer Feinstrukturen.

Der Zusammenhang von Struktur und Funktion ist fachspezifisch für die Biologie und unterscheidet sich grundlegend vom Struktur-Eigenschaft-Konzept der Chemie: Dort steht die Beziehung zwischen der Struktur von Molekülen und deren Eigenschaften in einem direkten kausalen Zusammenhang (*proximate* Erklärung der Eigenschaften durch die Struktur). Dagegen ist der Zusammenhang zwischen biologischen Strukturen und ihren Funktionen komplexer: Aus einer biologischen Struktur lässt sich zwar ein kausaler, also proximater Zusammenhang zur Funktion beschreiben. Das biologische Basiskonzept geht allerdings darüber hinaus: Die Struktur eines Organs hat häufig Auswirkungen auf dessen Funktionsfähigkeit und damit auf die Fitness den betreffenden Individuums. Somit beeinflussen Organstrukturen die Selektion, die auf dieses Individuum wirkt. Nicht an die fitnessbestimmende Funktion angepasste Strukturen werden selektiert und verschwinden in der Generationsfolge aus den Populationen, es überleben Organismen mit mehr oder weniger an die jeweiligen Umweltbedingungen angepassten Strukturen. Diese Überlegungen zeigen, dass das Basiskonzept Struktur und Funktion in engem Zusammenhang mit dem Konzept der Angepasstheit steht und mit diesem ultimat verbunden ist. Als Leitfrage kann dienen: Wie entstand im Verlauf der Evolution diese Struktur? Eine gewisse Vorsicht ist dabei zu beachten, ob die heute beobachtbare Funktion eines Organs wirklich den historischen Anpassungswert darstellt. Immer wieder gab es im Verlauf der Evolution Funktionswechsel, die für das Verständnis der Evolution bestimmter Strukturen von großer Bedeutung sind. Ein Beispiel ist die Vogelfeder: Ihre Ursprungsfunktion, die den Trägern einen Fitnessvorteil verschaffte, war sicher nicht das Fliegen – dazu ist die Flugfeder viel zu komplex gebaut. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Evolution der Vogelfeder durch ihre Funktion als Isolator bestimmt wurde; Vogelfedern sind erheblich bessere Isolatoren als etwa das Fell von Säugetieren!

Diese komplexen Zusammenhänge sind nur mit Hilfe der Selektionstheorie verständlich. Bevor diese Theorie in den Jahrgängen 7/8 zur Verfügung steht, kann das Basiskonzept Struktur und Funktion lediglich beschreibend verwendet werden. Mit der Kenntnis der Selektionstheorie kann die konzeptionelle Frage aufgeworfen werden, weshalb die Frage nach Struktur-Funktionszusammenhängen nur in der Biologie, nicht aber in den anderen Naturwissenschaften eine Rolle spielt. Die Erkenntnis, dass nur biologische Objekte eine historische Dimension haben und somit durch den Evolutionsprozess bestimmt werden, ist für das Verständnis der Autonomie der Biologie von entscheidender Bedeutung.

Die Unterscheidung zwischen proximaten und ultimaten Fragestellungen ist dem Sekundarbereich II vorbehalten. Die Klärung, dass die Frage „Warum“ in der Biologie die allgemeine, für alle Naturwissenschaften typische kausale Frage, zusätzlich aber auch die Frage nach der biologischen Funktion umfasst, ist allerdings von grundlegender verständnisfördernder Bedeutung und kann deshalb bereits im Sekundarbereich I thematisiert werden.
Ein Beispiel dafür ist die Pupillenreaktion: Bei Belichtung des Auges zieht sich die Pupille zusammen. Warum ist das so? Die erste übliche Schülerantwort spricht den Schutz an, den die Netzhaut durch die Verkleinerung der Pupille erfährt. Eine zweite Antwort auf gleicher Ebene wäre die Einstellung einer optimalen Belichtung für ein möglichst kontrastreiches Bild (vergleichbar der optimalen Belichtung bei einer Fotokamera). Die Frage, die die Schülerinnen und Schüler auf diese Weise beantworten, ist die nach der *biologischen Bedeutung / Funktion* der Pupillenreaktion.
Aber natürlich gibt es auch eine ganz andere Antwort auf die Frage nach dem „Warum“:
Durch die Belichtung fällt sehr viel Licht auf die Netzhaut; die Information über diese Reizstärke wird an das Gehirn gesendet. Dort wird im Rahmen eines Regelungsprozesses über motorische Neuronen ein Befehl an

die Ringmuskulatur der Iris gesendet. Dieser Ringmuskel der Iris kontrahiert und verkleinert damit die Pupille. Diese Erklärung ist eine Kausalkette, beschreibt also die (proximate) Ursache für die Pupillenverkleinerung bei Belichtung.
An diesem Beispiel lässt sich schon ab ca. Jg. 8 zeigen, dass die in Chemie und Physik übliche proximate Erklärung für Phänomene in der Biologie häufig nicht im ersten Fokus steht, sondern nach unserem Vorverständnis von Angepasstheit zuerst die Frage nach der biologischen Funktion und damit nach dem Fitnesswert im Zentrum steht.
Die Beziehung zwischen beiden Erklärungsmustern kann ein Schaubild zeigen:



Dem Basiskonzept *Struktur und Funktion* sind zahlreiche Unterkonzepte zuzuordnen wie etwa das *Schlüssel-Schloss-Prinzip,* das *Antagonismusprinzip der Muskelkontraktion* und das *Prinzip der Oberflächenvergrößerung*. Gerade diese Unterkonzepte erlauben in nahezu idealer Weise eine kumulative Entwicklung eines Verständnisses für Basiskonzepte, da sich in fast jeder Jahrgangsstufe Bezüge zu diesen Konzepten finden lassen. Damit erfahren die Lerner, wie ihnen Basiskonzepte als wirksames Werkzeug für das eigenständige Verstehen unbekannter biologischer Phänomene dienen können.

Struktur-Funktionszusammenhänge betreffen viele Ebenen der Biologie: So finden sie sich auf der Ebene von Organsystemen (z. B. dem Zusammenspiel von Skelett und Bewegungsmuskulatur), der Ebene der Organe (z. B. Zahnformen) bis zur molekularen Ebene (z. B. Basenpaarung in der DNA). Im Sekundarbereich I steht vorwiegend die unmittelbar erfahrbare Ebene der Organe im Zentrum; die molekulare Ebene wird in der Regel nur modellhaft schematisch erschlossen.

5. 2. Kompartimentierung

Lebende Systeme zeigen abgegrenzte Reaktionsräume. Dieses Basiskonzept verdeutlicht die Rolle des **Bausteinprinzips** von Zellen und Geweben, hilft aber auch beim Verständnis der Zellorganellen und Organe als abgegrenzte Funktionsräume innerhalb eines Organismus (Prinzip der **Arbeitsteilung**). Kompartimentierung spielt auch bei der **Energiespeicherung i**m Organismus (Protonengradient an Membranen) eine wesentliche Rolle.
Kompartimentierung gibt es **auf zellulärer Ebene** (Organelle und Organe), aber auch auf der Ebene von **Populationen** (Arbeitsteilung bei sozial organisierten Arten) und von Ökosystemen. Hier sind vor allem das Konzept der **ökologischen Nische** und das **Konkurrenzausschluss-prinzip** von zentraler Bedeutung.

Beispiele für zuzuordnende Prinzipien bzw. Teilkonzepte:

- Ebene Zelle: Zellkonzept
- Energie durch Konzentrationsgradienten (MITCHELL)
- Stofffluss- und Konzentrationskontrolle durch Membranen
- Ebene Organismus: Organe als Funktionsräume innerhalb des Organismus (Arbeitsteilung)
- Ebene Ökosystem: ökologische Nische und Konkurrenzausschlussprinzip

Kompartimentierungen gibt es nicht nur in der Biologie. Dort sind sie allerdings von zentraler Bedeutung, stehen sie doch in engem Zusammenhang zur Angepasstheit. In manchen Systematiken von Basiskonzepten (z.B. Bildungsstandards) wird das Konzept der *Kompartimentierung* als Unterkonzept von

Struktur und Funktion betrachtet. Tatsächlich ist eine solche Betrachtungsweise möglich: Wenn wir auf den verschiedenen Ebenen Kompartimentierungen antreffen, ist die Kernfrage immer die nach deren Funktion.

Die biologische Funktion von Kompartimentierungen ist so vielfältig, dass hier nur einige Beispiele genannt werden können. Jeder Unterrichtende kann selbst immer wieder neue Bezüge zu diesem Basiskonzept entdecken:

Das *Zellkonzept* ist ein grundlegendes Beispiel: Zellen sind in sich kompartimentierte Einheiten, die miteinander kommunizieren können und zumindest zeitweilig lebensfähig sind.

Die *Zellmembranen* als Begrenzung nach außen erzeugen abgegrenzte Reaktionsräume und damit eine Kontrolle des Stoffflusses. Sie ermöglichen den Ausschluss schädlicher Stoffe, die Stoffwechselprozesse negativ beeinflussen könnten (toxische Wirkung oder einfach durch die Förderung von unerwünschten Nebenreaktionen, wie sie in der organischen Chemie häufig sind), wie auch die Konzentrierung bestimmter Stoffe, die dadurch schneller und effektiver umgesetzt werden können. Das gilt in besonderem Maße auch für die Kompartimentierung zwischen dem Cytoplasma und den Zellorganellen und bei Mitochondrien und Chloroplasten sogar für die innerorganelle Kompartimentierung (z. B. Intermembranraum - Matrix). Die Kontrolle des Stoffaustausches zwischen benachbarten Funktionsräumen ist die bedeutsamste Funktion der Membranen.
Darüber hinaus können Konzentrationsgradienten zwischen voneinander durch Membranen abgegrenzten Räumen als **Energiespeicher** dienen. Die chemiosmotische Theorie beschreibt den Aufbau eines Protonengradienten als Grundlage für die ATP-Synthese, der nur durch Kompartimentierung möglich ist.

Auf den höheren Ebenen spielt Kompartimentierung ebenfalls eine bedeutsame Rolle: So bilden **Organe** abgegrenzte Funktionsräume, die eigene, teilweise autonome Systeme darstellen. Sie zeigen das Prinzip der Funktionsteilung als Grundprinzip des Lebendigen, das sich auf der Zellebene in Form der Organelle wiederfindet. Andererseits arbeiten Organe wie etwa Atmungsorgan, Blutkreislauf, Verdauungsorgane und Muskulatur im Rahmen des Energiestoffwechsels eng zusammen. Das verdeutlicht den systemischen Aspekt dieses Basiskonzeptes, der für die Lerner auch schon im Sekundarbereich I erschließbar ist.

Kompartimentierung zeigt sich aber auch auf den **ökologischen Ebenen:**
Intraspezifisch grenzen sich die Individuen vieler Arten durch **Reviere** voneinander ab. Ultimate Ursache ist die Konkurrenz um irgendeine begrenzte Ressource, sei es die Nahrung, Schutzraum oder Brutplatz. Die Revierbildung ist also ein konkurrenzbedingte räumliche Kompartimentierung. Doch ist auch Koexistenz möglich, und zwar an ehesten dort, wo verschiedene Individuen keine gleichen begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen nutzen, also z.B. unterschiedliche Nahrung nutzen. So unterscheiden sich die Nahrungsspektren gerade von verschiedenartigen Konsumenten 2. Ordnung (deren Nahrung häufiger begrenzt ist als die von Konsumenten 1. Ordnung) in der Regel deutlich voneinander. Diese Ansprüche an bestimmte Ressourcen schließt der Nischenbegriff mit ein (in seiner einfachsten Definition als „Ansprüche einer Art an ihre Umwelt und Ressourcennutzung“). Der genannte Zusammenhang wird durch das **Konkurrenzausschlussprinzip** beschrieben: *Verschiedene Arten eines Lebensraums haben unterschiedliche ökologische Nischen; auf diese Weise wird Konkurrenz vermindert*; als Negativformulierung: *Haben verschiedene Arten eines Lebensraumes gleiche ökologische Ansprüche, insbesondere bezüglich der Nutzung begrenzt vorhandener Ressourcen, stehen sie in Konkurrenz zueinander; als Folge verdrängt (langfristig) die konkurrenzstärkere Art die konkurrenzschwächere*. In Einzelfällen gibt es auch eine innerartliche Nischendifferenzierung, die die Konkurrenz vermindert, etwa bei Sperber und Habicht: Bei diesen Arten unterscheidet sich das Nahrungsspektrum jeweils der Männchen und Weibchen deutlich voneinander. Das Konkurrenzausschussprinzip beschreibt also eine Kompartimentierung bezogen auf begrenzte Ressourcen (strukturelle Kompartimentierung).

Als allgemeines Konzept können wir also festhalten: Konkurrenz kann durch räumliche Kompartimentierung (Revierbildung) oder strukturelle Kompartimentierung (Nischentrennung) vermieden werden. Insbesondere bei Artbildungsprozessen spielt die Einnischung als Anpassungsprozess eine entscheidende Rolle: Historische Konkurrenz führt über Selektionsprozesse durch Einnischung zu Konkurrenzvermeidung.

5.3. Steuerung und Regelung

Lebende Systeme halten bestimmte Zustände durch Regulation aufrecht und reagieren auf Veränderungen. Regelung führt dazu, dass trotz wechselnder Umwelt- und Lebensbedingungen die inneren Zustände eines Lebewesens in einem funktionsgerechten Rahmen (Sollwert) bleiben. Typisch für Regelung ist die negative Rückkopplung.

Steuerung beschreibt die Möglichkeit eines Organismus, unabhängig von Sollwerten aktiv bestimmte Kenngrößen zu verändern. In der Regel dienen Steuerungen der Anpassung an veränderte Bedingungen.
Wichtig für das Grundverständnis dieses Basiskonzeptes ist die **Abgrenzung von ökologischen Regelmechanismen**, die zwar durch Rückwirkungsmechanismen unter stabilen Umweltbedingungen zu annähernd stabile Populationen führen, die aber **keinen Sollwert** aufweisen, und **physiologischen Mechanismen mit Sollwert**.

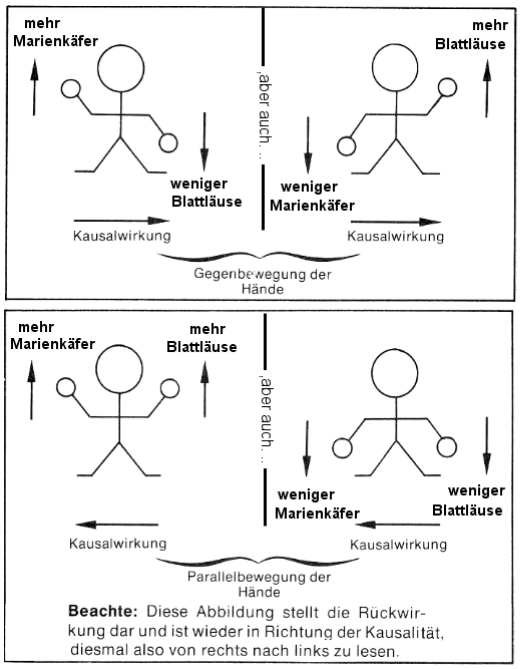
Beispiele:

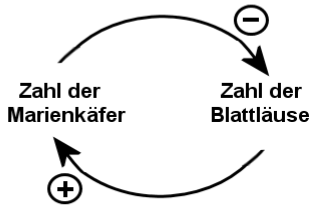
Regelung des Blutzuckerspiegels, der Pupillenweite, von (z.B. Sexual-)Hormonspiegeln
Regelung des ATP-Spiegels durch Enzymaktivierungen im Rahmen der Zellatmung

Steuerung von Muskeln im Bewegungsablauf, z.B. im Rahmen einer Taxisbewegung
Steuerung von Entwicklungsprozessen durch Veränderungen der Genaktivierung

Dieses Basiskonzept umfasst ein gut abgrenzbares Prinzip, das in physiologischen Bereichen eine große Rolle spielt. Die Bedeutung des Prinzips wird besonders gut durch die Unterscheidung von **Regulierern und Konformern** deutlich:
Physiologische Prozesse sind stark von Faktoren wie etwa von Temperatur, pH-Wert und Salzgehalt abhängig. Vor allem die Enzymaktivität zeigt bezüglich dieser Faktoren in der Regel ein mehr oder weniger enges Optimum. Für den Organismus ist des deshalb bedeutsam, das Milieu für die dort jeweils aktiven Enzyme zu optimieren. Das ist mit zwei unterschiedlichen Strategien möglich:
Konformer passen ihr inneres Milieu den jeweils herrschenden Umweltbedingungen an; dazu müssen die physiologischen Strukturen ein relativ hohes Maß an Toleranz aufweisen; das schränkt die physiologische Leistungsfähigkeit in der Regel ein.
Regulierer dagegen halten ihr inneres Milieu auch bei wechselnden Umweltbedingungen weitgehend konstant (Beispiel: gleichwarme Organismen). Das steigert die physiologische Leistungsfähigkeit, kostet aber in der Regel viel Energie.

Pfeildiagramme und Regelkreismodelle als mögliche **Visualisierungen von Regelungen** erlauben ein Verständnis dieser Prozesse. Pfeildiagramme sind zumeist vorzuziehen, denn sie sind in der Regel recht einfach und zeigen direkt die negative Rückkopplung als bezeichnendes Element der Regelung. Allerdings sind Sollwerte über Pfeildiagramme nicht darstellbar. Blockschaltmodelle aus der Kybernetik eignen sich dagegen besonders in einfachen Fällen von Regelung zur Herausstellung der beteiligten physiologischen Strukturen und zur Fokussierung auf den **Sollwert**: Dieser beschreibt den Optimalzustand des Systems, der **Istwert** den aktuellen Zustand. Durch Regelung werden Abweichungen des Istwertes vom Sollwert permanent minimiert.





Allgemeine Begriffe der Kybernetik:
Eine positive Kausalrelation ist eine Kausalwirkung mit gleichsinniger Veränderung der Größen
Zeichen: ⊕→

Eine negative Kausalrelation ist eine Kausalwirkung mit gegensinniger Veränderung der Größen.
Zeichen: ⊖→

Die Existenz eines Sollwertes sowie die daran gebundenen Regelmechanismen sind also als Angepasstheit zu verstehen: Individuen, die jeweils die für die Lebensfunktionen optimalen Zustände einstellen oder aufsuchen können, haben einen Fitnessvorteil gegenüber anderen Organismen, die keine derartigen Regelungsmechanismen haben.

Im **ökologischen Bereich** ist das anders: So gibt es zwar negative Rückwirkungen z.B. bei vielen Räuber-Beute-Beziehungen, es existiert jedoch **kein Sollwert.** Das ist ein wichtiger Aspekt, der zum Verständnis des Basiskonzeptes deutlich hervorzuheben ist. Die Schülervorstellung geht nämlich gern von einer pantheistischen Vorstellung der Natur aus, die alles

regelt und für gute Bedingungen sorgt (vergleichbar dem physiologischen Regelmechanismus). Eine solche regelnde Instanz gibt es in der „Natur“ nicht. Das einzig herrschende Prinzip ist die Selektion: Wenn etwa hoch effektive Räuber als Spezialisten ihre Beute so stark dezimieren, dass sie keine Beute mehr finden, so können sie theoretisch ihre Nahrungsgrundlage und damit ihre Existenzgrundlage vernichten und aussterben. Sollte es solche Fälle in der Natur gegeben haben, werden wir sie nicht beobachten, denn diese Räuber sind bereits ausgestorben. Folglich überleben eher Räuberpopulationen mit ineffektiveren Jagdtechniken, deren Bestand schon bei etwas geringerer Beutedichte begrenzt wird. Als Folge sinkt der Bestand der Räuber, der der Beute kann sich wieder erholen, woraufhin die Räuberpopulation ansteigen kann[1]. Das wäre der einfachste Fall einer negativen Rückwirkung, die sich wie eine Regelung verhält und um bestimmte Populationskenngrößen oszilliert; das mathematische Modell von Lotka und Volterrra beschreibt einen solchen Zusammenhang.
Im wahren Leben tritt ein solcher Fall nur selten auf, da ökologische Systeme außer auf kleinen Inseln offen sind, d.h. Zu- und Abwanderung spielen eine wichtige Rolle und verändern die Populations- und Selektionsbedingungen. In der Regel sind Räuber auch eher Generalisten, die bei einer Dezimierung einer bevorzugten Beute auf andere Arten ausweichen (Beutewechsel). Dieser Beutewechsel stabilisiert die beteiligten Räuber- und Beutepopulationen.
Dass die „Natur“ hier nichts optimal richtet, machen Beispiele deutlich, in denen unter bestimmten Bedingungen Räuber Beutetierarten bis zur Ausrottung gefährden können. So können neozoische Räuber die an diese nicht angepasste endemische Beutetierarten ausrotten, wie das Beispiel des Mungos auf Jamaika oder andere Fälle zeigen. Dieser Effekt spielt auch in der Naturschutzdebatte eine Rolle: So gefährden etwa Füchse den Bestand von seltenen bodenbrütenden Vogelarten, da sie sich durch Eierraub als hocheffektive Räuber erweisen; da die Füchse aber keine Spezialisten sind, können sie kleine Populationen auf diese Weise zum Auslöschen bringen. Typischerweise sind solche Fälle häufig menschengemacht: Die Einschleppung von Neozoen in neue Lebensräume oder die Verminderung der Populationen bodenbrütender Vogelarten durch Landwirtschaft sind anthropogene Störungen in Ökoystemen, die zum Aussterben führen können. Aber sicher gibt es auch Einwanderungen von Räubern in neue Lebensräume etwa durch Klimaänderungen ohne Einfluss des Menschen, die ebenfalls das scheinbare ökologische Gleichgewicht (mit einem scheinbaren Sollwert) dramatisch verändern können. Solche Veränderungen der Verbreitungsgebiete bestimmter Arten (dem Auftreten von Neozoen vergleichbar) führten sicher häufig zum Aussterben von Arten und erheblichen Verschiebungen in der Biozönose.
Moderne Ökologievorstellungen beziehen ohnehin statische Zustände wie etwa die des Klimaxstadiums als stabiles Endstadium der Sukzession nicht mehr in ihre Modelle ein, sondern setzen an ihre Stelle das Konzept von jederzeit dynamischen Ökosystemen (*patch dynamics*).

Für den Unterricht ist zu empfehlen, den Begriff des ökologischen Gleichgewichts völlig zu vermeiden, da er die fachlich falsche Alltagsvorstellung der regulierenden „Mutter Natur“ unterstützt.

5.4. Stoff- und Energieumwandlung

Lebewesen sind offene Systeme; sie sind gebunden an Stoff- und Energieumwandlungen. Die Instabilität von lebenden Organismen beruht auf permanenter Energieabgabe, die durch ständige Energiezufuhr (i.d.R. Sonnenenergie oder energiereiche Nahrungsstoffe) im Sinne eines Fließgleichgewichts ausgeglichen wird.

Beispiele für zuzuordnende Prinzipien:

- Grundprinzipien dissimilatorischer und assimilatorischer Prozesse
- Konzentrationsgradient und Energie (MITCHELL)
- Fließgleichgewicht
- Kopplung exergonischer und endergonischer Prozesse; Rolle des ATPs und der Phosphorylierungen
- Energetische Sicht auf das Wesen des Lebendigen

Dieses Basiskonzept ist sehr komplex, denn letztendlich zielt es auf das Wesen des Lebendigen als Systemeigenschaft ab. Ein Grundverständnis für lebende Systeme muss in kleinen Schritten aufgebaut werden. Die Alltagsvorstellung ist in der Regel vitalistisch geprägt: Leben ist etwas, das Lebewesen innewohnt und, vergleichbar der Seele, nicht so recht naturwissenschaftlich zu fassen ist. Die Ersetzung dieses vorwissenschaftlichen Konzepts durch die einer modernen Vorstellung von Leben ist dadurch erschwert, da Leben nur durch ein Verständnis des Organismus als System naturwissenschaftlich begreifbar wird. Modellhaft können wir im Sekundarbereich I diese systemische Betrachtung durch den Vergleich eines Lebewesens mit einem Kraftfahrzeug fördern: Ein Auto ist ein Fortbewegungsmittel. Diese Eigenschaft ist modellhaft mit der Lebendigkeit vergleichbar. Ein Auto wird erst ein Auto als Fortbewegungsmittel durch das

1 Die Alltagsvorstellung, dass die Natur das so eingerichtet hat, muss durch eine Deutung der relativen Ineffektivität von Räubern als Ergebnis eines Koevolutionsprozesses korrigiert werden: Die Räuber sind ineffektiv, weil die Populationen Beutetierarten an diese Räuber im Verlauf des Evolutionsprozesses angepasst wurden.

Zusammenspiel vieler Einzelkomponenten. Wir können nicht mal sagen, dass der Motor das Wichtigste ist: Ohne Tank, ohne Reifen, ohne Benzinzufuhrschlauch oder Kurbelwelle wäre das System Auto nicht funktionsfähig: *Das Ganze (das System Auto) ist mehr als die Summe seiner Einzelteile*, da durch das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten eine neue Qualität entsteht. In diesem Sinne wird Leben nur durch das Zusammenspiel einer großen Zahl von Einzelkomponenten eines Organismus ermöglicht.
Das Automodell kann im Sekundarbereich I dienen, um das Verständnis des Systems Organismus verständlich zu machen:

Einzelkomponente Modell Auto	Funktion im System	Einzelkomponente Organismus
Motor	Primäre Bewegung	Muskel
Benzinpumpe	Transport	Herz
Tank	Energiereserve	Verdauungstrakt; Leber
Räder	ausführende Bewegung	Beine
Fenster	Informationen von außen	Sinnesorgane

Die Konkretisierung der Beispiele zeigt schnell die Grenzen des Modells auf. Das gilt sicher für jede Einzelkomponente, vor allem aber auch für etwas Grundsätzliches: Ein Auto ist immer noch ein Auto, wenn es steht und der Motor nicht läuft. Ein lebendes System unterscheidet sich von einem toten Organismus dagegen grundlegend dadurch, dass der Zustand des Lebens, wenn er verloren geht, in der Regel nicht wieder hergestellt werden kann. Ein Auto kann dagegen immer wieder gestartet oder repariert werden.

Das macht deutlich, dass das Wesen des Lebens nicht allein durch das Zusammenspiel bestimmter Strukturen beschrieben werden kann. Die wesentliche Lebenseigenschaft ist die Selbstorganisation und Selbsterhaltung des Systems; Leben braucht Leben für seine eigene Aufrechterhaltung. Das hat zur Folge, dass Leben in einer kontinuierliche Kette über die *Reproduktion* weitergegeben wird, bestenfalls unterbrochen von Phasen latenten Lebens etwa bei Bakteriensporen oder in manchen Pflanzensamen. Eine solche Beschreibung von Leben mutet jedoch fast metaphysisch an und nähert sich scheinbar der Vitalismusvorstellung. Zu vermeiden ist diese nur, wenn wir das Leben unter als einen instabilen hochenergetischen Zustand charakterisieren. Aus diesem Grund spielt der Energiestoffwechsel eine entscheidende Rolle im Verständnis für das Leben: Alle Lebewesen sind auf die permanente Zufuhr von Energie angewiesen, die sie als Heterotrophe in Form energiereicher organischer Substanzen oder als Autotrophe in Form von Lichtenergie oder energiereichen, oxidablen anorganischen Stoffen (Chemosynthese) aufnehmen.
Dass wir permanent Nahrung aufnehmen müssen, ist eine Alltagserfahrung, die das Verständnis der Rolle von Nahrung erleichtert: Steine und Salze können uns nicht ernähren, da ihre Verstoffwechselung keinen Aufbau von ATP als direkten Energieträger erlaubt. Dass Lebensprozesse Energie brauchen, ist im Falle von Bewegung als Kennzeichen des Lebendigen leicht verständlich; hier stimmt auch wieder die Analogie mit dem Verbrennungsmotor im Auto. Schwieriger zu verstehen ist der Grundumsatz. Dazu ist ein Verständnis der Instabilität der den Organismus aufbauenden Substanzen von Bedeutung: Da die meisten dieser Stoffe, etwa Proteine, leicht zerfallen, kann der labile Fließgleichgewichtzustand des Organismus nur durch permanente Neusynthese aufrechterhalten werden. Für diese Neusynthese sind zum einen Baustoffe aus der Nahrung, aber auch Energie notwendig, da chemische Syntheseprozesse in der Regel nicht exergonisch, sondern endergonisch verlaufen und nur durch Koppelungen mit Phosphorylierungen und Ähnliches in eine exergonische Gesamtreaktion überführt werden können. Die Kopplung von exergonischem ATP-Abbau mit endergonischen Prozessen im Rahmen von Synthesen oder bei der Muskelkontraktion ist ein entscheidendes Prinzip im Rahmen des Basiskonzeptes *Stoff- und Energieumwandlung*. Im Unterricht ist die Thematisierung der **Muskelkontraktion** auf molekularer Ebene eine gute Möglichkeit, die energetischen Grundprinzipien deutlich zu machen: Dass Muskelbewegung Energie braucht, ist trivial – ATP, einem Muskel zugeführt, bewirkt aber keine Muskelkontraktion, sondern hat eine „Weichmacherwirkung“ zur Folge. Das zeigt, dass der Mechanismus komplexer ist: Der ATP-Zerfall bewirkt über eine energetische Kopplung die strukturelle Veränderung des Myosinkopfes in einen energiereichen Zustand, vergleichbar einer gespannten Armbrust. Die eigentliche Bewegung ist eine Folge der Bindung des Myosinkopfes mit Aktin, die wiederum durch Calciumionen ermöglicht wird. Diese Bindung ist also mit dem Betätigen des Abzugs unserer Armbrust zu vergleichen: Es erfolgt die Bewegung, der Myosinkopf leistet Arbeit und geht dabei wieder in den energiearmen Zustand über. Dieses Prinzip, dass der Ruhezustand eine energiereicher Zustand ist, der durch einen Impuls schlagartig entladen wird, ist offenbar vor allem bei schnellen Reaktionen von Vorteil. Wir finden es in abgewandelter Form beim **Ruhepotenzial** wieder: Der große Konzentrationsunterschied vor allem von Kalium- und Natriumionen diesseits und jenseits der Neuronenmembran entspricht einem energiereichen Zustand, der durch die Kalium-Natrium-Ionenpumpe permanent aufrechterhalten, also in Bereitschaft gehalten wird. Durch den Impuls der Depolarisierung öffnen sich Natrium-Ionenkanäle, das Konzentrationsgefälle der Ionen führt zu Ionenströme, die das RP zusammenbrechen lassen, ein AP wird ausgelöst. Auch hier ist also der Ruhezustand energiereich, der durch einen Impuls zu einer schnellen Entladungsreaktion führt. Die Akzentuierung auf diesen Grundmechanismus eröffnet also ein grundlegendes Verständnis für das vorliegende Basiskonzept.

Auch für das Verständnis der **Fotosynthese** ist eine konzeptuelle Betrachtung wichtig: Nach dem humanzentrierten Alltagsverständnis stellen Pflanzen Sauerstoff her, „damit wir atmen können“. Sauerstoff ist

jedoch ursprünglich ein sogar toxisches Nebenprodukt der Fotosynthese, die eine ganz andere biologische Funktion hat: Zentral ist der Aufbau energiereicher organischer Substanzen, die als chemischer Energiespeicher wie auch als Baustoff für die Wachstumsprozesse dient. Im Sekundarbereich I können wir die biologische Funktion der Fotosynthese also kurz auf den Punkt bringen: Pflanzen stellen ihren Nährstoff selbst her.

Die enge Verbindung diese Basiskonzeptes mit dem der *Kompartimentierung* ist offensichtlich: Die erste Form der Energiespeicherung ist die Entwicklung eines Protonen-Konzentrationsgefälles, das die Basis für die ATP-Synthese darstellt. Dass dieses Prinzip bei beiden Energiestoffwechselprozessen, der Zellatmung und der Fotosynthese, eine Rolle spielt, ist wiederum ein Hinweis auf die phylogenetische Verwandtschaft und (in diesem Teilbereich) Homologisierbarkeit von Fotosynthese und Zellatmung.

5.5. Reproduktion

Lebewesen haben eine **begrenzte Lebensdauer**. Da Leben nur aus Leben entstehen kann, besteht die Kontinuität des Lebens in der Generationsfolge. Die Reproduktion führt durch die **identische Replikation der DNA**, aber auch durch **Mutation und Rekombination** zu **Vielfalt** innerhalb der Populationen.
So schaffen die Begrenztheit des Lebens und die Vielfalt in Populationen die Voraussetzung und Basis für Veränderung und damit die evolutive Anpassung an eine dynamische Umwelt.

Beispiele für Teilkonzepte:

- Individualentwicklung
- Fortpflanzung und Erblichkeit
- Ausprägung der genetischen Information
- Genom-Umwelt-Verschränkung
- K- und r-Strategie

Die Reproduktion ist eine unmittelbare Folge aus zwei Grundprinzipien:

a) das Leben eines jeden Organismus ist zeitlich begrenzt

b) Leben entsteht nur aus Leben.

Diese beiden Grundprinzipien basieren wiederum auf anderen Basiskonzepten:

a) ist zum einen eine Folge der Alterungsprozesse der instabilen Substanzen lebender Systeme, vor allem der DNA. Das wäre der proximate Grund. Die ultimate Erklärung ist noch wichtiger: Je länger Organismen leben, desto langsamer können adaptive Evolutionsprozesse ablaufen; denn da die Ressourcen auf der Erde begrenzt sind, kann immer nur eine begrenzte Zahl von Individuen einer Art gleichzeitig existieren; Nachkommen haben nur eine Chance zu überleben, wenn ältere Organismen sterben. Da eine lamarckistische Anpassung von Organismen aber nicht möglich ist, bietet ein begrenztes Alter der Individuen einen Selektionsvorteil: Nur in der Generationsfolge können erbliche Mutationen die Varianz im Genpool erhöhen bzw. aufrechterhalten und im Phänotyp manifestiert werden – eine Voraussetzung für Selektionsprozesse und damit für die Anpassungsfähigkeit von Populationen. Damit ist das Basiskonzept *Reproduktion* eng mit dem der *Variabilität und Angepasstheit* verknüpft.

Reproduktion findet auf der Ebene der Zellen und der Organismen statt. Auf der Ebene der Zellen stehen die **Mitose** und die **identische Replikation der DNA** im Zentrum:
Klonexperimente belegen, dass bei Vielzellern alle Zellen (außer den entwickelten Keimzellen) die identische Erbinformation enthalten. Die Gewährleistung dieser Tatsache erfolgt im ersten Schritt durch die DNA-Replikation. Unter dem Aspekt der Evolution ist entscheidend, dass diese Vervielfältigung eine gewisse Fehlerquote aufweist: Mit einer fehlerlosen Replikation gäbe es keine Genmutationen und damit praktisch keine Evolution; bei einer zu großen Fehlerzahl sinkt die durchschnittliche Fitness in einer Population, da die meisten Mutationen, wenn sie sich im Phänotyp manifestieren, negative Konsequenzen haben. Die real existierende Mutationsrate kann also im Sinne einer Kosten-Nutzen-Betrachtung als Kompromiss aufgefasst werden. Das bedeutet, dass diese Fehlerrate selbst das Ergebnis eines Selektionsprozesses sein muss.
Die Mitose sollte im Unterricht unter dem Aspekt der Gewährleistung der erblichen Gleichheit der neuen Zellen betrachtet werden – im Grunde ist es also eine *Struktur-Funktion*s-Betrachtung; damit spielt dieses Basiskonzept hier eine wesentliche Rolle.

Die Mutationsrate ist nur ein Faktor, der die Variabilität in der Population bestimmt: Ein zweiter ist die **Rekombination** der Gene. Diese besteht aus zwei Elementen: der Reduktion des diploiden auf den haploiden Chromosomensatz im Verlauf der **Meiose** und der Kombination der haploiden Keimzellen zu einer diploiden Zygote. Die Bedeutung der Rekombination ist wiederum nur im Kontext mit dem Basiskonzept *Variabilität und Angepasstheit*, also der Evolutionstheorie, verständlich. Diese Zusammenhänge machen deutlich, dass die biologische Funktion der Diploidie als auch der Sexualität nur im Kontext der Evolution deutlich wird. Eng damit verknüpft ist die zweite Funktion der Diploidie, nämlich die Maskierung der Allele für rezessive Merkmale bei Heterozygoten. Die meisten genetisch bedingten Krankheiten sind rezessiv; durch

die Diploidien treten diese Krankheiten allerdings bei den Heterozygoten nicht auf und vermindern somit nicht deren Fitness. Weiteren Aspekte wie der Heterozygotenvorteil und die Prädisposition (Präadaptation) seien nur kurz erwähnt.
Alle Zusammenhänge um die Rekombination werden am ehesten durch Modellrechnungen mithilfe des **Hardy-Weinberg-Gesetz**es verständlich. Als Beispiel eines mathematischen Modells bietet sich seine Behandlung im Unterricht des Sekundarbereichs II aus vielen Gründen an.

Das Verständnis für Dominanz und Rezessivität erfordert eine genauere Betrachtung, wie Gene wirken. Die Schülervorstellung, dass Eigenschaften und Merkmale vererbt werden, hält zwar einer logischen Betrachtung von Stammbäumen und dem „Überspringen“ von Merkmalen in der Generationsfolge nicht Stand. Dennoch bereitet es die Lernern häufig Schwierigkeiten, auf der Grundlage der klassischen, formalen Genetik Heterozygotie zu verstehen. Sobald die Lerner allerdings erfahren, dass Gene letztendlich Informationen über den Aufbau von Genprodukten – in der Regel von Proteinen – enthalten, wird verständlich, dass die Heterozygoten durchaus in der Lage sind, das (evtl.) lebensnotwendige Genprodukt zu bilden und somit häufig den homozygot dominanten Phänotypen gleichen. Nur den homozygot Rezessiven fehlt jegliche Anleitung (oder „das Rezept“) zum Aufbau des Genprodukts – sind zeigen phänotypisch die Mangelerscheinungen, die durch das Fehlen des Genprodukts bedingt sind. Die Frage von Dominanz und Rezessivität ist also kein Zufall oder ein undurchschaubares Phänomen, sondern folgt strikten kausalen Beziehungen zwischen Gen, Genprodukt und Phänotyp. Diese Überlegungen zeigen,dass eine isolierte Behandlung der klassischen Genetik vor der molekularen nicht sinnvoll ist.

5.6. Information und Kommunikation

Lebewesen nehmen Informationen von außen und über innere Zustände auf, speichern und verarbeiten sie. Thema dieses Basiskonzeptes sind also die **Sinnesorgane** sowie weiterführend das **Nervensystem**.
Doch auch das **Hormonsystem** dient der Informationsübertragung innerhalb des Organismus; in abgewandelter Form wirken Pheromone als Informationsübeträger zwischen verschiedenen (i.d.R. artgleichen) Individuen.

Kommunikation ist der wechselseitige Informationsaustausch unter Lebewesen. Sie setzt eine gemeinsame **Codierung** (Sprache, spezifische Reize) voraus, die vom Empfänger decodiert werden kann. Dieses Basiskonzept hilft z.B. beim Verständnis der Verschlüsselung von Information auf der Ebene der Makromoleküle, der Erregungsleitung, des Lernens und des Sozialverhaltens.

Beispiele:

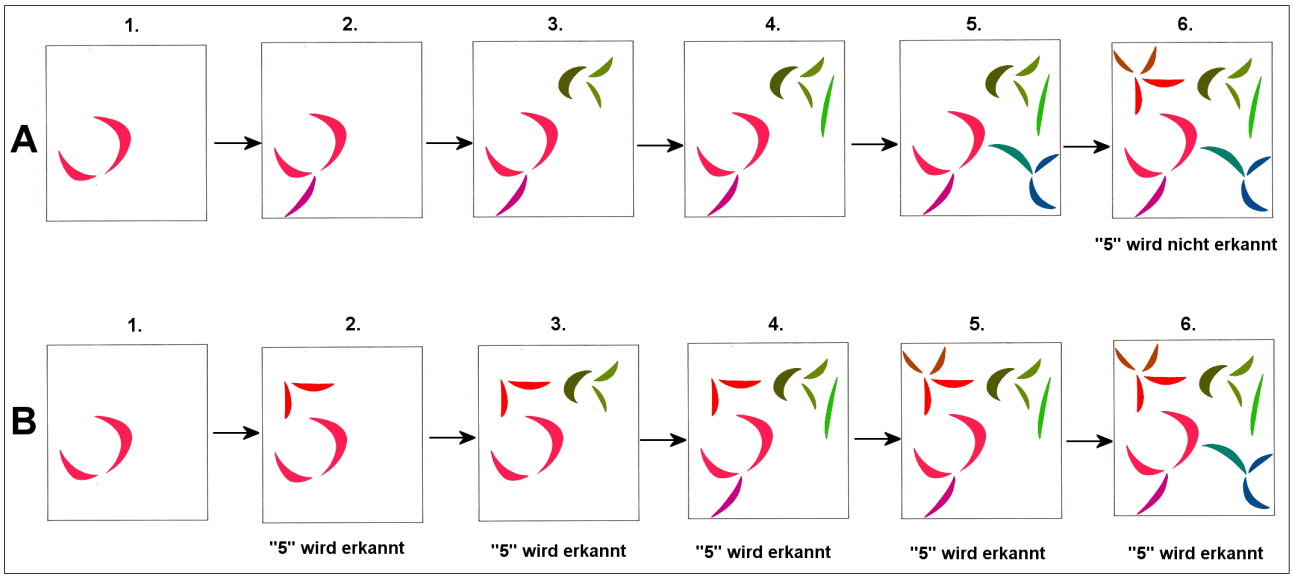
- Sinnesorgane als Fenster und Filter zur Umwelt
- Erregungsleitung und -verarbeitung
- Nervensysteme
- Hormone
- verhaltensauslösende Reize
- Sozialverhalten und Kommunikation

Das vorliegende Basiskonzept ist wie die anderen auch eng mit der Evolutionstheorie verbunden, denn neben der Frage der Funktionsweise (also die proximaten Gründe) spielen für das Verständnis dieses Basiskonzeptes die ultimaten Gründe eine entscheidende Rolle: Auf allen Ebenen können die Informationsstrukturen als Angepasstheiten interpretiert werden. Einige Beispiele sollen das verdeutlichen:

Sinnesleistungen von Tieren stehen in einem engen Zusammenhang zu ökologischen Gegebenheiten. Einfache Beispiele können zeigen, dass gerade die Begrenzung der Sinnesleistungen auf die für den Organismus zum Überleben bedeutsamen vorteilhaft ist: Nur ein kleiner Teil der in der Umwelt vorhandenen Faktoren werden als Reize überhaupt wahrgenommen. So ist für uns Menschen der überwiegende Teil des Spektrums elektromagnetischer Strahlung nicht wahrnehmbar; lediglich der Bereich des sichtbaren Lichts sowie die etwas langwelligere Wärmestrahlung (IR) stellen Reize dar. Vor allem die Vielzahl technischer Strahlenquellen (Fernsehen, Handy etc.) nehmen wir gottlob nicht wahr. Das Beispiel macht deutlich, dass die Beschränkung eine Reizüberflutung verhindert; das zentrale Nervensystem muss die ankommenden Reize nach einer erneuten Filterung verarbeiten können. Die Konzentration auf das für das Überleben Wesentliche macht dies effektiv möglich. Die Wahrnehmung dieser Beschränkheit der Sinneswahrnehmung ist für das Verständnis von Wirklichkeitswahrnehmung entscheidend: Wir nehmen nur einen Teil der außerhalb von uns selbst existierenden Wirklichkeit auf; unsere Sinne vermitteln uns also kein „reales“ Bild der Außenwelt. Auf der Ebene der Informationsverarbeitung im ZNS werden die als Erregungen verschlüsselten Außenreize interpretiert; dadurch entsteht eine neue, subjektive Wirklichkeit, die sich sicherlich mehr oder weniger stark von der tatsächlichen Wirklichkeit außen unterscheidet. Diese Zusammenhänge werden durch den Konstruktivismus beschrieben. Allerdings unterliegt diese Interpretation

der Außeninformationen durch das ZNS der Selektion: Organismen, die ein „falsches“ Bild der Wirklichkeit wahrnehmen, sind selektionsbenachteiligt, wenn dieses falsche Bild den Organismus zu nicht angepassten Reaktionen auf Umwelteinflüsse führt. Dieser evolutiven Anpassungsprozess führte vermutlich dazu, dass bestimmte Reize, die für den Organismus besonders bedeutsam sind, stark akzentuiert werden, während bezüglich der Fitnessbedeutung unwichtigere Reize uns als klein und unwichtig erscheinen. Ein einfaches Beispiel dafür ist die Tastempfindlichkeit unserer Haut: Ist diese an den Fingerspitzen besonders groß (Werkzeuggebrauch!), ist sie am Oberarm und am Rücken gering. Auch die unterschiedliche Schmerzempfindlichkeit ist als Angepasstheit zu interpretieren: Schon leichte Verletzungen der leicht verletzlichen Hornhaut unseres Hauptsinnesorgans Auge empfinden wir als äußerst schmerzhaft, während bei anderen Körperteilen erst stärkere Verletzungen als wirklich schmerzhaft empfunden werden. Schmerz dient der Heilung verletzter Organe, da es uns zu einer Ruhigstellung veranlasst. Die durch Endorphine ausgelöste zeitweilige Blockade von Schmerzempfindungen in Stresssituationen erlaubt uns, diese Schonhaltung aufzugeben und die Flucht vor Bedrohungen zu ergreifen: Der Fitnessgewinn der Flucht vor einem Raubtier oder einem Angreifer ist ungleich größer als der einer Schonhaltung zur Heilung eines Organs. Die gleichen Überlegungen legen nahe, dass das Schmerzempfinden von Gliedertieren fehlen oder nur sehr gering ausgeprägt sein sollte, da Verletzungen des Chitinpanzers nicht heilen können, eine Schonhaltung also keinen Fitnessvorteil bedeutet. Neurophysiologische Befunden unterstützen diese Voraussage.

Ein einfaches Einführungsbeispiel für die Diskrepanz zwischen tatsächlicher (äußerer) und innerer Wirklichkeit ist das **Sehen**.



Zeigen wir etwa Schülern die obere Reihe in der genannten Reihenfolge mit dem Auftrag zu beschreiben, was sie sehen, dann „sehen“ sie in der Regel Muster, Blüten, Bananen etc., aber keine 5. Zeigen wir ihnen dagegen die zweite Reihe B, so erkennen sie ab dem 2. Bild die „5“ und diese auch bis in das letzte Bild, das dem der Reihe A völlig gleicht. Das Beispiel zeigt, dass wir die objektiv gleiche Wirklichkeit unterschiedlich „sehen“ / wahrnehmen, je nachdem, worauf unsere Aufmerksamkeit gerichtet ist. Im Unterricht dient das Beispiel zur Einführung in das Verständnis von Sehen als Vorgang von Auge u n d Gehirn.

Ein weiteres Beispiel, das ein weitergehendes kausales Verständnis ermöglicht, ist das **negative Nachbild**: Starren wir längere Zeit auf ein kontrastreiches Bild und anschließend auf eine weiße Fläche, so sehen wir scheinbar das zuvor fixierte Objekt als Negativbild (ein schöner Text zu diesem Phänomen findet sich in Goethes Farbenlehre). Eine vereinfachte Erklärung ist möglich, wenn wir die Netzhautprozesse betrachten:
Die im Original dunklen Bereiche führen auf der Netzhaut zu keiner Reaktion, während die hellen Bereiche in der Netzhautabbildung zum Zerfall von Rhodopsin führen. Schauen wir anschließend auf eine gleichmäßig helle Fläche, werden alle Netzhautzellen gleichermaßen belichtet – aber ihre Reaktion auf diesen gleichen Reiz ist unterschiedlich: Da sich das zerfallene Rhodopsin nicht so schnell regeneriert, findet in den ehemals belichteten Zellen ein geringerer Zerfall von Rhodopsin statt als in den ehemals unbelichteten, die noch viel Rhodopsin enthalten. Da die Zerfallsmenge maßgeblich für die Signalstärke an das Gehirn ist, ergibt sich ein negatives „Hirnbild“ (ehemals helle Bereiche erscheinen dunkler, dunkle Bereiche heller), ein Phantombild, da ja in der äußeren Wirklichkeit (auf der Ebene der eintreffenden Reize) lediglich eine einheitlich helle Fläche vorhanden war: Wir sehen also ein Trugbild.

Ein weiterer Aspekt des Basiskonzeptes ist die **Informationsübertragung durch Neurone.** Ein Beispiel für eine konzeptionelle Betrachtung sei hier genannt: Membranpotenziale gibt es bei allen Zellen; auch Pflanzenzellen weisen ein solches Potenzial auf, auch bei ihnen können durch Transduktionseffekte lokal Depolarisationen auftreten. Allerdings werden diese trotz elektrotonischer Weiterleitung nicht sehr weit geleitet. Der wesentliche Evolutionsschritt bei der Bildung von Zellen, die Informationen auf elektrischem Wege weiterleiten können, war die Entwicklung potenzialgesteuerter Ionenkanäle, wie sie für das Aktionspotenzial verantwortlich sind. Ohne diese Ionenkanäle verebben Depolarisationswellen innerhalb weniger Millimeter. Aktionspotenziale dagegen verlieren durch den Aufschaukelungsmechanismus, bei dem sich bei jedem AP letztlich alle Ionenkanäle öffnen, auch über längere Strecken nicht an Intensität, so dass

die Information verlustfrei über mehrere Meter weitergeleitet werden kann. Die evolutive Entwicklung der potenzialgesteuerten Ionenkanäle war somit Voraussetzung für die strukturelle Veränderung von Zellen zu den heute bekannten Neuronen mit ihren langen Fortsätzen.

Ein anderer Aspekt, wieder im Hinblick auf die Evolution, sind die geschwindigkeitssteigernden Mechanismen von Neuronen. Wirbellose haben keine **Myelinscheide**. Eine Geschwindigkeitssteigerung war im Verlauf der Evolution nur durch immer dickere Neuronenfortsätze möglich. Den Extremwert weisen die Riesenaxone von Cephaolpoden auf – kein Zufall, denn diese Tiergruppe stellt auch die intelligenteste, lernfähigste Gruppe innerhalb der Wirbellosen dar. Möglicherweise konnten sich keine intelligenteren Wirbellosen trotz ihrer langen Evolutionsgeschichte bilden, weil die Geschwindigkeit der neuronalen Erregungsleitung durch die maximalen Axondurchmesser begrenzt wurde. Innerhalb der Entwicklungslinie der Wirbeltiere entstand zufällig eine Myelinscheide, die schlagartig einen immensen Geschwindigkeitsgewinn bei geringerem Raumbedarf (geringerer Axondurchmesser) brachte. Damit war eine schnellere Informationsverarbeitung im ZNS möglich – die Voraussetzungen für komplexere Intelligenzleistungen waren gegeben. Übrigens zeigt dieses Beispiel die Rolle des Zufalls in der Evolution: Nach lamarckistischen, finalen Vorstellungen wäre nicht zu verstehen, weshalb nicht auch die Wirbellosen eine zweckmäßige Isolierung der Axonmembran entwickeln konnten – brauchen können sie sie auch.

Die Informationsübertragung mittels Hormone stellt im Vergleich zur neuronalen Weiterleitung eine langsamere Form dar. Für viele Vorgänge wäre die große Geschwindigkeit der Neuronen gar nicht notwendig. Hormone decken ein ganz anderes Spektrum der Informationsübertragung ab: von (in der Regel) einem Ausgangsorgan, der Hormondrüse, wird die Information im gesamten Organismus verteilt (Neurone dagegen haben häufig nur einen Start- und einen oder wenige Zielorte); die hormonspezifischen Zellrezeptoren bestimmen, welche Zellen auf diese Hormonmoleküle reagieren. Diese reagierenden Zellen können im gesamten Organismus verteilt sein. Hormone sind also immer dann Neuronen überlegen, wenn es um eine räumlich breit gestreute Informationsvermittlung geht.
Interessant ist auch ein Vergleich des **Übertragungsprinzip**s von Information durch beide Systeme:
Information erfordert immer Spezifität. Die Erregungsleitung ist allerdings als solche völlig unspezifisch. Nur Start- und Zielpunkt bestimmen den Wert der vermittelten Information. Hormone dagegen sind per se spezifisch und damit Informationsträger. Die Rezeptoren bestimmen lediglich den Zielort der Information.

5.7. Variabilität und Angepasstheit

Lebewesen sind bezüglich Bau und Funktion an ihre Umwelt angepasst. Beschreibt das Basiskonzept *Struktur und Funktion* den inneren Zusammenhang, thematisiert das Basiskonzept *Angepasstheit* die **Beziehung von Bau und Funktion zur Umwelt**.
Angepasstheit beschreibt einen durch Anlagen bestimmten Zustand, **Anpassung** dagegen einen Prozess. Dabei gilt Angepasstheit als gegeben, wenn eine Struktur und die damit verbundene Funktion die Fitness eines Organismus bzw. die Weitergabe seines Genoms fördert. Anpassung ist auf der Ebene des einzelnen Individuums (Modifikation) und auf der Ebene von Populationen (Evolutionsprozess) möglich. Der Zusammenhang zwischen Variabilität und **evolutivem Anpassungsprozess** setzt Kenntnisse von **Evolutionsmechanismen** voraus.

Beispiele für zuzuordnende Prinzipien bzw. Unterkonzepte:

- Individualität; genetische und modifikatorische Varianz
- Artenvielfalt und Einnischung
- Optimierungsprinzip
- Selektionstheorie
- Kosten-Nutzen-Prinzip
- es gibt nicht nur Angepasstheiten – die Rolle des Zufalls in der Evolution (Gendrift)

An vielen Stellen wurde bereits der Bezug von diversen Basiskonzepten zu dem der *Variabilität und Angepasstheit* hergestellt. Dieses Basiskonzept repräsentiert den Kern der Evolutionstheorie und ist damit allen übrigen Basiskonzepten übergeordnet.

Grundlage für Angepasstheit ist die Selektion in einer Population mit Variabilität, also der Fähigkeit, in der Generationsfolge Varianten herauszubilden[1]. Auf den engen Zusammenhang zwischen Variabilität und dem Basiskonzept *Reproduktion* wurde bereits hingewiesen (s. dort). Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang die Rolle der Individualiät; sie ist die Ausdrucksform der nahezu unendlichen Vielfalt, die sich aus der

1 Auch wenn durch die Epigenetik die Möglichkeit einer über mehrere Generationen möglichen Anpassung an bestimmten Umweltverhältnisse aufzeigt, ändert dieser Aspekt nichts an der Gültigkeit der synthetischen Evolutionstheorie: Auch epigenetische Phänomene basieren letztendlich auf einer genetischen Grundlage, die wiederum durch Selektionsprozesse entstand.

Rekombination von Genomen diploider Organismen ergibt. Allerdings ist gerade in Bezug auf den Menschen zu beachten, dass Individualität nicht nur durch Unterschiede im Genom, sondern natürlich ganz wesentlich auch durch die individuelle Geschichte und die unterschiedlichen modifikatorischen Einflüsse der Umweltfaktoren entsteht – sonst gäbe es bei eineiigen Zwillingen keine Individualität.

Das Basiskonzept *Variabilität und Angepasstheit* umfasst mit der Evolutionstheorie auch wesentliche Aspekte der Ökologie, insbesondere das Konzept der ökologischen Nische, und der Ökoethologie wie auch der Soziobiologie. Gerade die Verhaltenskunde profitiert enorm von der Perspektive der Angepasstheit, die das ultimate Verständnis von Verhalten überhaupt erst ermöglicht.

Eine besonders wichtiges Konzept ist in diesem Zusammenhang das **Optimierungsprinzip:** Ursprünglich nur auf Energiebilanzen (Energiebedarf als **Kosten**, Energiegewinn als **Nutzen**) bei Entscheidungswahlen von Individuen bezogen kann dieses Konzept gut auf Anpassungen und Angepasstheiten von Individuen allgemein angewandt werden: In diesem Sinne können als Kosten alle fitnessmindernden und als Nutzen alle fitnessfördernden Faktoren angesehen werden. Damit kann ein sinnvolles Verständnis von komplexen Selektionswirkungen im Evolutionsprozess entwickelt werden.

Versuchen wir allerdings, alle rezenten Merkmale als Angepasstheiten aufzufassen, verkürzen wir die Evolutionstheorie erheblich. Die Theorie der neutralen Evolution betont die große Bedeutung des **Zufalls** im Evolutionsgeschehen. Der Zufall spielt in dreierlei Hinsicht eine wichtige Rolle.

a) Zufälle entscheiden, welche Mutationen überhaupt auftreten. Gerade in diesem Punkt unterscheidet sich der darwinistische Ansatz deutlich von der lamarckistischen Vorstellung der Evolution. Wenn zufälligerweise bestimmte Mutationen, die für die Individuen einer Population von Vorteil wären, nicht auftreten, dann finden Entwicklungen zu höherer Angepasstheit eben nicht statt. Somit entscheidet letztendlich der Zufall, welche Entwicklungsrichtungen der Evolution sich gegenüber anderen Formen Wettbewerbsvorteile verschaffen können – eine zielgerichtete Entwicklung findet nicht statt.

b) Da Mutationen nach der Evolutionstheorie entgegen der Auffassung Lamarcks vor dem Einwirken der Selektion eintritt und von dem durch sie potenziellen Fitnessvorteil ihrer Träger unabhängig ablaufen, ist davon auszugehen, dass das Phänomen der Prädadaption (Prädisposition) häufig, vermutlich sogar die Regel ist: Viele durch Mutation veränderten Gene werden sich im Genpool lange Zeit halten, ohne dass für ihre Träger irgendeinen Vorteil, vielleicht sogar kleine Nachteile bewirkten. Zu einem späteren Zeitpunkt können diese Merkmalsträger unter veränderten Umweltbedingungen einen Fitnessvorteil gegenüber den übrigen, nicht diese Mutation tragenden Indivdiuen aufweisen, so dass sich dieses Genmaterial erst dann im Genpool vermehren wird.

c) Die Ungerichtetheit von Mutationen lässt eine große Zahl von Varianten entstehen, die keine Fitnessvorteile gegenüber anderen Merkmalskombinationen aufweisen, aber auch keine gravierenden Nachteile. Solche Varianten können sich durchaus in der Population halten. Ist der Selektionsdruck nicht so ungewöhnlich stark, dass wirklich nur die Allerbestangepassten überleben (und auch hier wird der Zufall noch Spielraum lassen), werden durch die Selektion lediglich die deutlich fitnessbenachteiligten Individuen ausselektiert. Durch Rekombination entsteht ohnehin in jeder Generation neu ein großes Spektrum nicht optimal angepasster Individuen, von denen wiederum viele trotz gewisser Mängel überleben werden. Ein Beispiel dafür sind Färbungen von Tieren und Pflanzen. Ist der Selektionsdruck sehr stark, etwa durch optisch orientierte Fressfeinde, so werden tatsächlich nur die gut Getarnten überleben, die Varianz bezüglich dieses Merkmals wird relativ gering sein. In vielen Fällen jedoch können sich Farbvarianten in der Population halten, obwohl diese im Einzelne vielleicht durch Auffälligkeit einen gewissen Selektionsnachteil aufweisen. So können sich zum Beispiel in städtischen Regionen, in denen der Predatorendruck nicht so groß ist, teilalbinotische Amseln trotz ihres auffälligen Farbmusters über lange Zeit über die Generationsfolge hinweg halten. Am bekanntesten sind die durch **Gendrif**teffekte entstandenen Farbvarianten bestimmter Echsenarten wie die Ruineneidechse auf kleinen italienischen Inseln und der Seitenfleckenleguan auf Inseln im kalifornischen Golf. Als Angepasstheit lassen sich solche Farbspiele nicht erklären. Entscheidend ist lediglich, dass sie nicht im Widerspruch zum Konzept der Angepasstheit stehen, weil diese Varianten keinem das Farbmerkmal betreffenden Selektionsdruck ausgeliefert sind.

Diese Überlegungen sind vor allem deshalb von Bedeutung, weil sie die **Alltagsvorstellung der *optimalen* Angepasstheit** entgegenstehen. Lamarckismus würde zur optimalen Angepasstheit führen, nicht aber die auch durch Zufallsprozesse beeinflussten Evolutionsprozesse gemäß der synthetischen Evolutionstheorie.

5.8. Geschichte und Verwandtschaft

Dieses Basiskonzept bringt eine völlig neue Dimension in die Biologie: Heute beobachtbare biologische Phänomene sind letztendlich nur verständlich, wenn wir die Geschichte, also das Gewordensein, der rezenten Populationen beachten. Das gilt letztlich auch für das Verständnis der Herkunft des Menschen und unsere Eingebundenheit in die Welt der übrigen Lebewesen (Verwandtschaft).

Beispiele für zuzuordnende Prinzipien:

- Homologie und Analogie von Strukturen und Verhaltensweisen
- Artkonzept
- Divergenztheorie und Verwandtschaft
- Funktionswechsel in der Evolution (z.B. Feder: Wärmeisolation – Fliegen)

Die **Verwandtschaft** aller heute existierenden Lebewesen untereinander ist ist die zentrale Aussage der Divergenztheorie. Je nach Länge der gemeinsamen Entwicklung ist der Verwandtschaftsgrad unterschiedlich. Da voneinander geografisch oder anders (etwa ethologisch) isolierte Populationen nicht mehr im Genaustausch stehen, führen Mutationen zur Auseinanderentwicklung dieser Populationen, die schließlich als verschiedene Arten betrachtet werden können. Es gibt keinen Grund, der gegen die Annahme spricht, dass bei einer längerfristigeren Auseinanderentwicklung auch erheblich abweichende Formen entstehen, die wir dann als verschiedenen Gattungen, Familien, Ordnungen und Klasse zugehörig einstufen können. Durch die Zufälligkeit von Mutationen ist es äußerst unwahrscheinlich , wenn auch nicht ausgeschlossen, dass in getrennten Populationen gleiche Mutationen auftreten. Das hat zur Folge, dass die Abweichungen der DNA verschiedener Populationen ein gutes Maß für die Dauer der getrennten Entwicklung ist; damit dient dieses Maß als Grundlage von phylogenetischen Stammbäumen. Zu bedenken ist allerdings, dass auch innerhalb einer Population deutliche Unterschiede in der DNA auftreten können; definieren wir eine Art als Fortpflanzungsgemeinschaft, so ist die Entscheidung, ob zwei Individuen zu einer oder zu verschiedenen Arten gehören, nicht einfach, wenn Paarungsmöglichkeiten nicht direkt beobachtet werden können. Die schon lange währende Diskussion um den Artstatus des Neandertalers ist ein Beispiel für diese Schwierigkeit. Auf der phänotypischen Ebene sind es **Homologien**, die als Hinweis für Verwandtschaft gewertet werden. Vorsicht ist angesagt, dass hier Zirkelschlüsse vermieden werden: Homologie ist per Definition eine Ähnlichkeit durch Herkunftsgleichheit; folglich kann man Verwandtschaft (Herkunftsgleichheit) nicht nur Homologien belegen. Vielmehr ist im Einzelfall zu beweisen bzw. wahrscheinlich zu machen, dass Ähnlichkeiten zwischen Strukturen tatsächlich auf Herkunftsgleichheit zurückzuführen ist. Das übliche Verfahren verläuft über die Feststellung, dass die Homologiekriterien zutreffen. Das ist allerdings ein recht grobes und keineswegs immer eindeutiges Maß; nicht immer lassen sich analoge Strukturen eindeutig abgrenzen. Wieder ist die Basensequenz der zugrunde liegenden Gene das beste Kriterium für Verwandtschaft. Das ist vor allem durch die Redundanz des genetischen Codes möglich: Theoretisch wäre ja denkbar, dass gleiche Strukturen bei verschiedenen Organismen allein aufgrund der engen Beziehung zwischen Gen, Genprodukt und Merkmal gleiche Gensequenzen bedingen – soweit diese tatsächlich Einfluss auf das Genprodukt haben. In diesem Fall sollten allerdings die für die eindeutige Codierung nicht relevante Basen (meist die dritte im Triplett) beliebig verteilt sein. Wenn wir jedoch feststellen können, dass auch diese bedeutungslosen Basen in der DNA-Sequenz zweier Organismen identisch sind bzw. nur wenige Unterschiede aufweisen, dann spricht das in hohem Maße für Ähnlichkeit durch die Existenz gemeinsamer Vorfahren, also für Homologie.

Diese Art der Beweisführung ist typisch für die Evolutionstheorie. Da geschichtliche Vorgänge einmalig verlaufen und nicht reproduzierbar sind, können Hypothesen wie etwa zur Verwandtschaft nicht wie bei physiologischen Hypothesen durch Experimente überprüft werden. Die Absicherung von Erkenntnissen muss also auf anderem Wege erfolgen. Man nennt diese Schlüsse, die die Logik der Beweisführung und Überprüfung kennzeichnen, **Retrodikte** (Näheres siehe KATTMANN 2008). Sie folgt dem am obigen Beispiel aufgezeigten Muster.

- **Hypothesenbildung** etwa zur Frage einer Verwandtschaftsbeziehung
- **Prognose** im Sinne einer Voraussage, was im Falle, dass die Hypothese zutrifft, für Phänomene / Merkmale zu erwarten sind, die heute nachprüfbar sind. (= **Retrodikt**)
- Findet sich diese Erwartung in den einer Untersuchung zugänglichen Phänomenen wieder, so wird die Hypothese unterstützt (mehr nicht – das gilt für die experimentelle Überprüfung aber auch!). Treten **Widersprüche** zwischen Erwartung und tatsächlichen Phänomenen auf, dann ist die **Hypothese widerlegt**.

Die Arbeit mit dem Basiskonzept *Geschichte und Verwandtschaft* verlässt also den für Naturwissenschaften typischen Erkenntnisgang. Dennoch sind die mit diesem Basiskonzept verbundenen Aussagen durchaus naturwissenschaftlich im Sinne von kritisch hinterfragten Aussagen, denn sie wurden über die Retrodikte der Möglichkeit der Falsifikation unterzogen.

6. Literatur:

Duit, Kattmann u.a. (1997): Das Modell der didaktischen Rekonstruktion, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg.3, H.3

Harms / Bünder (1999): Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: Kumulatives Lernen: http://www.blk-sinus.niedersachsen.de/modul5.htm (Abruf 1. 5. 2005)

I. Beyer (2006): Basiskonzepte Sekundarstufe I und II, Reihe NATURA, Klett Verlag

Kattmann (1995): Wie Evolution Sinn macht. Konzeption eines naturgeschichtlichen Unterrichts; in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 1/1), S. 29 - 42

ders. (2002): Vom Blattt zum Planeten. Scientific Literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht nach Pisa; in: Monschner / u.a. (Hrsg.): Perspektiven für Lehren und Lernen – Pisa 2000 als Herausforderung. Hohengehren, Schneider

ders. (2008): Evolution und Kreationismus; UB 333; dort insbes.: „Nur“ eine Theorie (S. 7 -15)
Evolutionsbiol. Tatsachen (S. 16 – 18)
Ziel und Plan in der Evolution (S. 31 -41)

Kultusministerkonferenz (2004): Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie (EPA)

ders (2004): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss

Lichtner (2004): Erklärungskonzepte und Erschließungsstrategien als Instrumente des kumulativen Lernens, in: VdBiol / Ballmann u.a. (Hrsg.): Weniger (Additives) ist mehr – (Systematisches) Kumulatives Lernen, Handreichungen f. d. Biologieunterr. in den Jg. 5 – 10, S. 42 - 56

ders. (2005): Strukturierendes Lernen in Biologie mit Basiskonzepten; http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/Basiskonzepte.pdf

ders. (2006): Zum Umgang mit Basiskonzepten im Unterricht am Beispiel der Jahrgänge 5 und 6; http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/Umgang%20Basiskonzepte.pdf

Nds. Kultusministerium (2004): Curriculare Vorgaben für das Gymnasium - Schuljahrgänge 5/ 6, Naturwissenschaften: http://nibis.ni.schule.de/nibis.phtml?menid=335

ders. (2005): Empfehlungen für das Gymnasium Schuljahrgänge 7 – 10; http://www.cuvo.nibis.de

ders.(2007): Kerncurriculum für das Gymnasium – Naturwissenschaften; http://www.cuvo.nibis.de

http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d25/25b.htm

http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/basis.htm

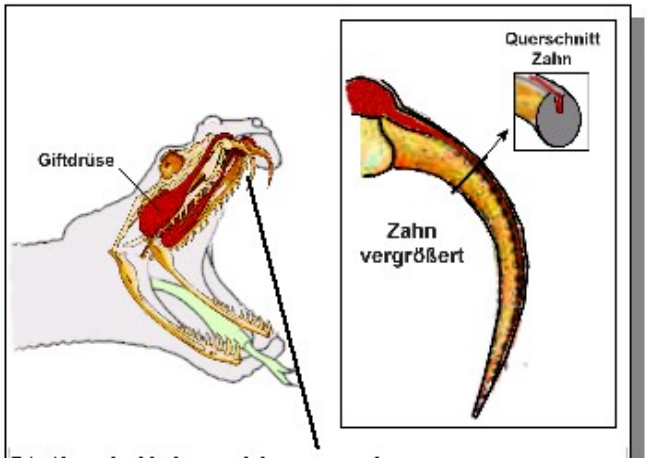
Mein besonderer Dank gilt **Birgit Ambos** und **Prof. Dr. Ulrich Kattmann** für ihre konstruktiven Anregungen.

Anlage

Struktur und Funktion hängen zusammen

Aufgabe:

1. Untersuche und betrachte die Gegenstände an den Stationen genau. Beschreibe die Aufgabe des mit einem Strich gekennzeichneten Teils, soweit das möglich ist.
2. Die Gegenstände lassen sich in zwei Gruppen ordnen. Was fällt dir auf, wenn du deine Angaben zur Funktion der gekennzeichneten Teile in beiden Gruppen betrachtest?



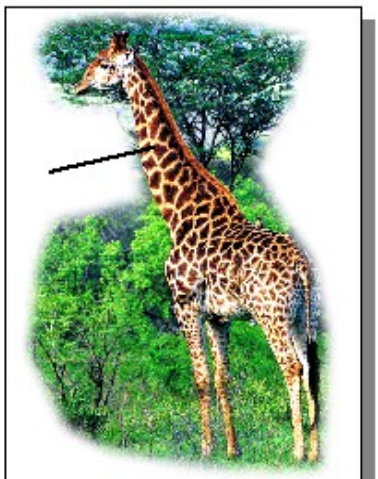
Station 1: Kobraschlangenzahn

Station 2: Maulwurfsbein

Der Graureiher sucht seine Nahrung (Fische, Frösche) gern im sumpfigen Gelände und in flachen Teichen.

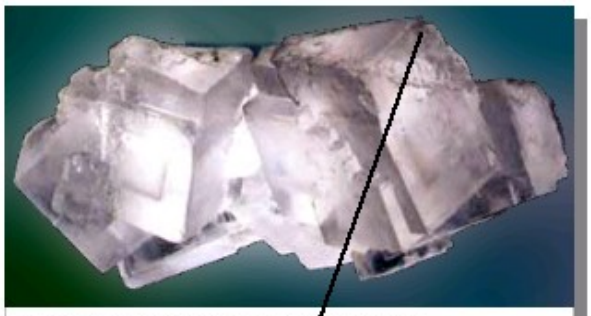
Station 3: Graureiherbein

Station 4: Eisbergspitze

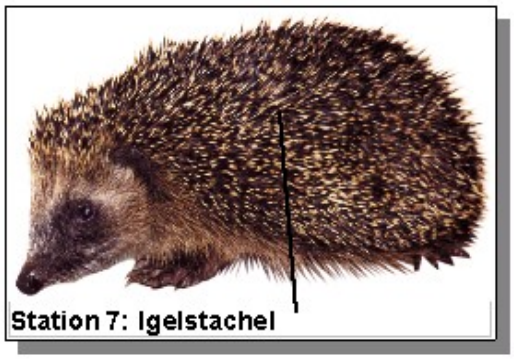


Die Giraffe frisst gern die Blätter hoher Bäume.

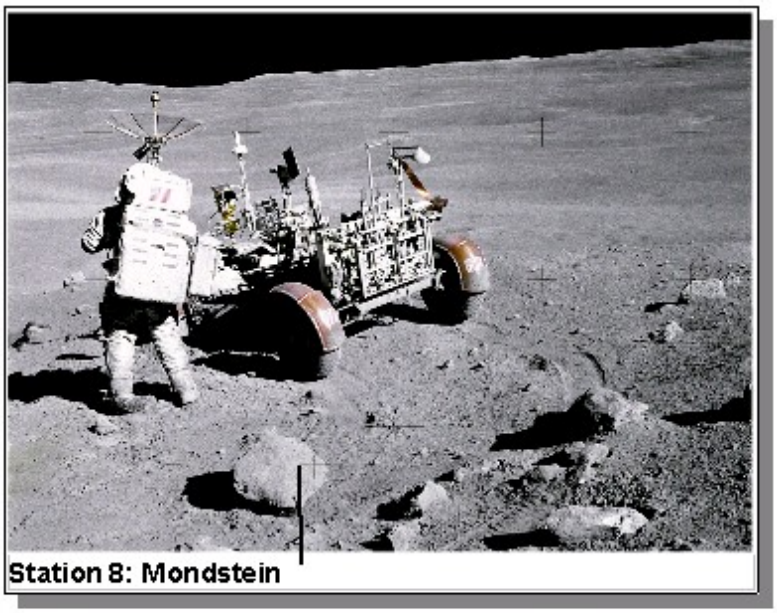
Station 5: Giraffenhals



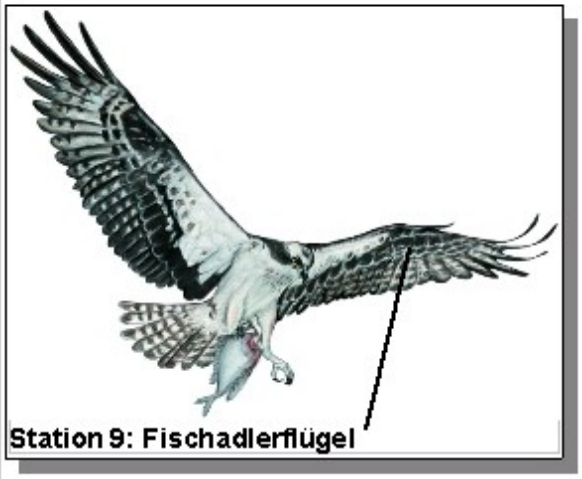
Station 6: Spitze des Salzkristalls



Station 7: Igelstachel



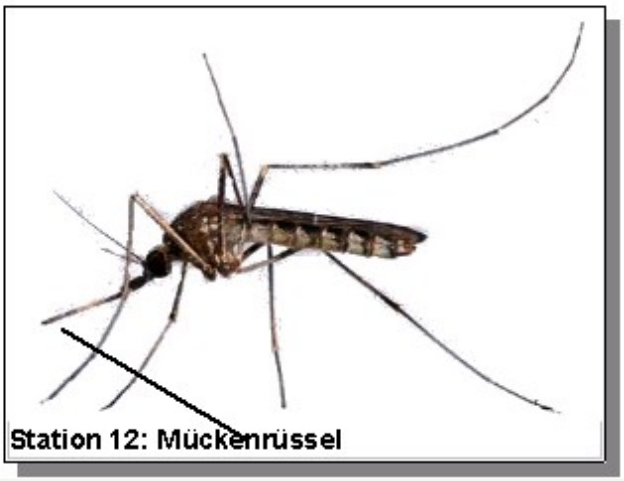
Station 8: Mondstein



Station 9: Fischadlerflügel

Station 10: Hunde-Fangzahn

Station 11: Meereswelle



Station 12: Mückenrüssel

Erste Gruppe von Gegenständen: Nr. .....

Ihre Gemeinsamkeit: .....

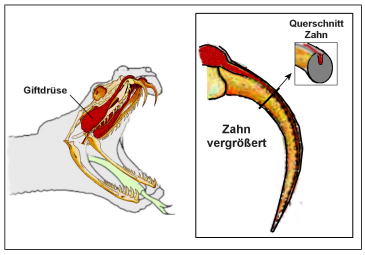
Zweite Gruppe von Gegenständen: Nr. .....

Ihre Gemeinsamkeit: .....

Das ist Biologie
Bio
Regeln und Prinzipien

Der Zusammenhang von Bau und Funktion bei Lebewesen

Die **Beine des Graureihers** sind besonders lang. Das ist ihre typische Struktur. Sie haben die Aufgabe, sein Gefieder vor dem Nasswerden zu schützen. Sie ermöglichen ihm, im flachen Wasser zu waten und dort auf Nahrungssuche zu gehen. Mit kurzen Beinen wäre das nicht möglich.



Die **großen Zähne der Kobraschlange** sind deutlich nach hinten ..... . Außerdem haben sie auf der Oberseite eine ..... . Die ..... der Zähne verhindert, dass das Beutetier ..... . Die ..... auf der Oberseite dieser Zähne bewirkt, dass ..... in die Wunde des Opfers einfließen kann.

Bei den Gegenständen, die keine Lebewesen sind, ist die Frage nach der Funktion unsinnig. Welche Aufgabe soll ein **Mondstein** haben? Welche Aufgabe soll eine Meereswelle haben? Aber vielleicht hat sie doch eine?

Für einen **Surfer** ist sie sicher bedeutungsvoll.

Auch ein Stein kann eine Funktion haben, etwas als Briefbeschwerer.

Dennoch gibt es einen wichtigen Unterschied zwischen der Funktion des Reiherbeines und der Funktion der Welle.

Überlege: Für w e n ist diese Aufgabe jeweils wichtig?

Das lange Reiherbein ist für ..... wichtig.

Die Zähne der Kobraschlange sind für ..... wichtig.

Die Meereswelle ist für ..... wichtig.

Der Stein ist für ..... wichtig.

Fasse zusammen:

Die Strukturen der Lebewesen (wie z. B. das Reiherbein oder der Schlangenzahn) sind jeweils für ..... wichtig.

Die toten Gegenstände Welle und Stein sind dagegen nicht für ..... , sondern nur für ..... wichtig.

Lebewesen brauchen zum Ü b e r l e b e n in ihrer Umwelt bestimmte Fähigkeiten. Ihre Körperteile sind dafür besonders gut geeignet. Diese Eignung kommt durch deren besonderen Bau zustande.

Für einen Stein oder eine Welle gibt es kein Überleben, deshalb ist für sie selbst ihr Bau egal.

Unsere Beispiele zeigen also:

Nur bei Lebewesen macht es Sinn, nach dem Zusammenhang zwischen dem Bau (der Struktur) von Körperteilen und ihrer Aufgabe (Funktion) zu fragen. Wir sprechen auch von der biologischen Bedeutung eines Körperteils.